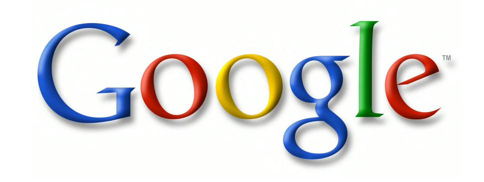




ЗАПИСКИ

МАТЕМАТИЧЕСКАГО ОТДѢЛЕНІЯ

Новороссійскаго Общества Естествоиспытателей.

ТОМЪ XVII.

ОДЕССА.
Тип. А. Шульце, Ланжероновская ул., д. Карузо № 36.
1895.

Записки математическаго отдѣленія:

Томъ I, II. III, IV, V.

Томъ VI. *Н. Сонинъ.* Объ одной задачѣ варіаціоннаго исчисленія. *А. Старковъ.* Объ одномъ линейномъ дифференціальномъ уравненіи 3-го порядка. *Его-же.* Объ одной задачѣ варіаціоннаго исчисленія. *Его-же.* О нѣкоторыхъ особенностяхъ въ постановкѣ задачи Ньютона о поверхности наименьшаго сопротивленія. *Н. Умовъ.* Геометрическое значеніе интеграловъ Френеля. *А. Старковъ.* Интегрированіе раціональной дроби съ мнимыми корнями въ знаменателѣ. *Н. Сонинъ.* Объ одной задачѣ варіаціоннаго исчисленія (статья вторая). *В. Лигинъ.* Новое построеніе Мориса д'Окань для опредѣленія отношенія скоростей въ направляющихъ механизмахъ Поселье и Гарта. *Приложеніе:* Русская библіографія по математикѣ, механикѣ, астрономіи, физикѣ и метеорологіи за 1884 годъ. 1885. Цѣна 1 руб. 50 коп.

Томъ VII. *A. Klossovsky.* Les orages en Russie. *И. Слешинскій.* Къ вопросу о разложеніи аналитическихъ функцій въ непрерывныя дроби. *A. Klossovsky.* Les orages au Sud de la Russie. Avec 4 cartes. *О. Зейлигеръ.* Страничка анализа. *Приложенія:* 1) Русская библіографія по математикѣ, механикѣ, астрономіи, физикѣ и метеорологіи за 1885 годъ. 2) Къ исторіи алгебраическаго обозначенія въ связи съ развитіемъ азбучной и музыкальной письменности. 1886 г. Цѣна 2 руб. 50 коп.

Томъ VIII. *Б. Станкевичъ.* Этюды по кинетической теоріи строенія тѣлъ. *А. Геричъ.* Объ общемъ законѣ сжатія водныхъ растворовъ солей. *И. Слешинскій.* О сходимости непрерывныхъ дробей. *И. Слешинскій.* Доказательство существованія нѣкоторыхъ предѣловъ. *В. Ермаковъ.* Задача для молодыхъ ученыхъ. 1888 г. Цѣна 1 р. 50 к.

Томъ IX. *И. Занчевскій.* Теорія винтовъ. *И. Русьянъ.* Къ вопросу о вѣроятности случайныхъ ошибокъ. *Г. Де-Метцъ.* О механическихъ свойствахъ маселъ и коллондовъ. Цѣна 2 руб.

Томъ X. *В. Циммерманъ.* О разложеніи въ непрерывную дробь функціи, опредѣляемой дифференціальнымъ уравненіемъ вида

$M\frac{dy}{dx}+Ny+Py^2+Q=0$, гдѣ M, N, P Q — цѣлыя раціональныя функціи.

A. Starkoff. Théorie des équations générales. *И. Слешинскій.* О сходимости непрерывныхъ дробей. Цѣна 2 руб

Томъ XI. *Д. Зейлигеръ.* Механика подобно измѣняемой системы. *М. Рудскій.* Двѣ задачи изъ теоріи теплоты. *А. Гуковскій.* Объ одномъ свойствѣ однородныхъ функцій. *Д. Зейлигеръ.* Механика подобно-измѣняемой системы. Цѣна 2 руб.

Т. XII. *И. Тимченко.* Основанія теоріи аналитическихъ функцій Цѣна 1 р. 50 к.

Томъ XIII. *М. Рудскій.* Къ теоріи линейныхъ дифференціальныхъ уравненій. *Д. Зейлигеръ.* Механика подобно-измѣняемой системы. Выпускъ третій. Статика подобно-измѣняемой системы. *Г. Де-Метцъ.* О сжимаемости ртути и стекла. Цѣна 2 руб.

Томъ XIV. *И. Занчевскій.* Геометрическія мѣста въ теоріи осей вращенія. *М. П. Рудскій.* Къ теоріи вѣковаго охлажденія земли. *Д. Н. Зейлигеръ.* Изъ области геометріи и механики. *А. Старковъ.* Къ теоріи линейныхъ дифференціальныхъ уравненій. *И. В. Слешинскій.* Къ теоріи способа наименьшихъ квадратовъ. Цѣна 2 руб.

Томъ XV. *М. П. Рудскій.* Къ теоріи вѣковаго охлажденія земли. *Его-же.* О предѣлахъ атмосферы. *Н. Умовъ.* Антитермы изопіестическихъ и изометрическихъ процессовъ совершенныхъ газовъ. *Н. Любимовъ.* Къ физикѣ системы, имѣющей перемѣнное движеніе. *М. П. Рудскій.* Опыты изслѣдованія главнѣйшихъ явленій, наблюдаемыхъ у рѣкъ.

Въ «Запискахъ математическаго Отдѣленія Новороссійскаго Общества Естествоиспытателей» помѣщаются статьи по высшей и низшей математикѣ, физикѣ и прикладнымъ наукамъ. Статьи присылаются въ совѣтъ Новороссійскаго Общества Естествоиспытателей и могутъ представлять: а) самостоятельныя изслѣдованія, б) рефераты, в) элементарную разработку научныхъ вопросовъ и теорій съ цѣлью ихъ большаго распространенія.

ЗАПИСКИ

МАТЕМАТИЧЕСКАГО ОТДѢЛЕНІЯ

Новороссійскаго Общества Естествоиспытателей.

ТОМЪ XVII.

ОДЕССА.
Тип. А. Шульце. Ланжероновская ул., д. Карузо № 36.
1895.

Печатано по опредѣленію Совѣта Новороссійскаго Общества Естествоиспытателей. Секретарь Общества *П. Бучинскій.*

MÉMOIRES

de la section mathématique

de la société des naturalistes de la Nouvelle-Russie

(Odessa).

T. XVII.

СОДЕРЖАНІЕ.

TABLE DES MATIÈRES.

Стр.

М. Панченко. Солнечное лучеиспусканіе 1

M. Pantchenko. La radiation solaire.



Солнечное лучеиспусканіе.

М. Панченко.

ВВЕДЕНІЕ.

Лучистая энергія, распространяемая центральнымъ тѣломъ нашей планетной системы, обусловливаетъ животную и растительную жизнь на земномъ шарѣ, такъ какъ живительные лучи солнца приносятъ собою теплоту и свѣтъ и въ тоже время производятъ химическія дѣйствія. Теплота, приносимая солнечными лучами, нагрѣваетъ сушу и водныя пространства, а также воздушную оболочку земного шара, почему служитъ первичною причиною всѣхъ явленій, совершающихся въ атмосферѣ.

Такимъ образомъ изученіе солнечной радіаціи представляетъ огромный интересъ для науки вообще и въ особенности для метеорологіи, занимающейся изслѣдованіемъ всѣхъ атмосферныхъ явленій.

Солнечная энергія распространяется въ видѣ пучковъ лучей различной преломляемости, или различной длины волнъ.

При прохожденіи черезъ прозрачную призму лучи солнца, болѣе преломляемые, сильнѣе отклоняются къ ея основанію, нежели менѣе преломляемые, и такимъ образомъ получается спектръ, средняя часть котораго производитъ впечатлѣніе на органъ зрѣнія, а также вызываетъ тепловыя и химическія дѣйствія.

Устанавливая чувствительный термометръ въ различныхъ частяхъ видимаго спектра, полученнаго посредствомъ разложенія солнечныхъ лучей призмою изъ каменной соли, замѣчаемъ, что нагрѣваніе термометра возрастаетъ, по мѣрѣ перемѣщенія къ

къ красному цвѣту. Такъ какъ для нормальнаго глаза наибольшую яркость представляетъ желтый цвѣтъ, то увеличеніе нагрѣванія при переходѣ къ красному цвѣту показываетъ, что лучи спектра дѣйствуютъ неодинаково на глазъ и на термометръ. Нагрѣваніе продолжаетъ усиливаться и за предѣлами краснаго цвѣта, гдѣ глазъ не ощущаетъ уже никакого впечатлѣнія.

Такимъ образомъ посредствомъ термометра мы убѣждаемся въ существованіи темныхъ тепловыхъ, или инфра-красныхъ лучей въ солнечномъ спектрѣ, впервые наблюдаемыхъ В. Гершелемъ и тщательно изслѣдованныхъ Меллони.

Отъ желтаго цвѣта къ фіолетовому концу спектра нагрѣваніе убываетъ, и за предѣлами фіолетоваго цвѣта оно настолько слабо, что даже наиболѣе чувствительный термометръ не въ состояніи указать термическихъ измѣненій. Но за-то бумага, пропитанная растворомъ азотно-кислаго серебра, и многіе другіе чувствительные къ свѣту препараты обнаруживаютъ преимущественно въ фіолетовыхъ и ультра-фіолетовыхъ лучахъ способность вызывать химическіе процессы.

Темные химическіе лучи были открыты Уильстономъ, а Беккерель, Мюллеръ, Маскаръ, Стоксъ и другіе точнѣе изслѣдовали эту часть спектра и нашли въ ней недѣйствующія химически линіи, соотвѣтствующія Фраунгоферовымъ въ свѣтовомъ спектрѣ. Главнѣйшія изъ нихъ обозначаются буквами: L, M, N, O, P, Q, R, S, T.

Свѣтовые, тепловые и химическіе лучи распредѣлены въ солнечномъ спектрѣ неодинаково и при томъ въ зависимости отъ вещества преломляющей призмы.

При употребленіи призмы изъ каменной соли наибольшее нагрѣваніе, какъ было уже замѣчено, наблюдается въ инфра-красныхъ лучахъ, на разстояніи отъ краснаго края, приблизительно равномъ промежутку между краснымъ и желтымъ цвѣтами.

При прохожденіи лучей черезъ стеклянную призму нагрѣваніе, производимое инфра-красными лучами, гораздо слабѣе.

Ультра-фіолетовые лучи особенно далеко распространяются отъ фіолетоваго конца при кварцевой призмѣ.

Различные фотографическіе препараты неодинаково чувствительны къ цвѣтамъ солнечнаго спектра. Хлористое серебро чувствительнѣе всего къ фіолетовымъ лучамъ и гораздо менѣе къ синимъ. На бромистое серебро дѣйствуетъ и зеленый цвѣтъ, на іодистое—фіолетовый и синій. Смѣси іодистаго и бромистаго серебра чувствительны къ цвѣтамъ синему и зеленому.

Эдмондъ Беккерель*) различаетъ свѣтовые лучи двухъ родовъ: вызывающіе и продолжающіе химическія дѣйствія. Наиболѣе преломляющаяся часть спектра, отъ синихъ до ультрафіолетовыхъ лучей, способна возбуждать химическія дѣйствія и кромѣ того, обладаетъ свойствомъ дѣлать нѣкоторыя тѣла свѣтящимися въ темнотѣ (rayons phosphorogeniques); къ такимъ тѣламъ принадлежатъ сѣрнистые кальцій, барій, стронцій и др.

Лучи желтаго, оранжеваго и краснаго цвѣта, по мнѣнію Беккереля, сами не могутъ вызывать химическихъ дѣйствій, но обладаютъ замѣчательнымъ свойствомъ продолжать дѣйствіе, начатое наиболѣе преломляемыми лучами (rayons continuateurs).

Но съ другой стороны Волластонъ нашелъ, что смола гваякъ окисляется и принимаетъ голубой цвѣтъ при дѣйствіи фіолетовыхъ лучей; окрашенная же такимъ образомъ, она раскисляется и обезцвѣчивается подъ вліяніемъ красныхъ лучей.

Вмѣстѣ съ тѣмъ извѣстно, что дагерротипная пластинка остается безъ измѣненія въ желтомъ, оранжевомъ или красномъ цвѣтѣ и быстро темнѣетъ подъ вліяніемъ лучей голубыхъ, синихъ или фіолетовыхъ. Но если чувствительная пластинка сначала измѣнена была дѣйствующими лучами, то въ наименѣе преломляемой части спектра она вновь приходитъ въ первоначальное состояніе. Поэтому Джонъ Дреперъ, который наблюдалъ эти любопытныя явленія, считаетъ наименѣе преломляю-

*) Marchand: Etudes sur la force chimique, contenue dans la lumière du soleil. p. 3.

щіеся лучи видимаго спектра не продолжающими, а разрушающими (des tructeurs) дѣйствіе химическихъ лучей.

Однако нужно полагать, что всѣ лучи видимаго спектра вообще могутъ производить химическія дѣйствія. Такъ Фогель *) говоритъ, что въ концѣ 1873 года ему удалось приготовить фотографическія пластинки, чувствительныя къ цвѣтамъ, которыя до того времени считались совершенно недѣйствующими, т. е. къ желтому, оранжевому и красному. Онъ нашелъ, что если къ бромистому серебру, мало чувствительному къ зеленому цвѣту, прибавить вещества, поглощающія зеленые лучи, то его чувствительность къ зеленому цвѣту значительно возрастаетъ. Точно также, прибавляя цвѣтныя вещества, поглощающія желтые лучи или красные, можно сдѣлать бромистое серебро чувствительнымъ и къ этимъ цвѣтамъ.

Вспомнимъ при этомъ, что по новѣйшимъ изслѣдованіямъ, не синіе и фіолетовые лучи, а преимущественно красные и желтые, дѣйствуя химически на листья растеній, способствуютъ усвоенію ими углекислоты изъ воздуха.

Но если красные и желтые лучи могутъ вызывать химическія реакціи, то, съ другой стороны, фіолетовые и ультрафіолетовые способны производить тепловыя дѣйствія, какъ это найдено въ новѣйшее время, благодаря чрезвычайной чувствительности прибора, построеннаго американскимъ ученымъ Лангле.

При помощи своего *болометра* Лангле тщательно изслѣдовалъ тепловыя свойства на всемъ протяженіи солнечнаго спектра и по возможности точно опредѣлилъ крайніе предѣлы инфра-красной и ультра-фіолетовой его части.

До Лангле **) почти ничего не было извѣстно относительно длины волнъ инфра-красныхъ лучей. Физики преимущественно занимались наиболѣе преломляющейся частью спектра. За отсутствіемъ довольно чувствительныхъ приборовъ, при опредѣле-

*) Фогель. Химическія дѣйствія свѣта и Фотографія. Стр. 69.

**) Langley: Sur les spéctres invisibles. Ann. de Chimie et de Phisique, 6 sér., 1886.

нія длины волнъ тепловыхъ лучей прибѣгали большею частью къ экстерполяціоннымъ формуламъ, которыя естественно не могли давать надежныхъ выводовъ. Такъ еще до 1882 года, ученые, на основаніи изслѣдованій физика Дрепера полагали, что точныя измѣренія могутъ простираться только до той части теплового спектра, гдѣ длина волны не превышаетъ 0,001 миллиметра, или 1 μ *).

Въ работѣ, главные выводы которой были впервые опубликованы въ Comptes Rendus 11 сентября 1882 года, Лангле, на основаніи измѣреній, произведенныхъ имъ въ диффракціонномъ спектрѣ, опредѣлилъ положеніе холодныхъ полосъ въ тепловой части спектра до того предѣла, гдѣ длина волны равна 2,4 μ, и показалъ, что солнечный спектръ во всякомъ случаѣ доходитъ до 2,8 μ.

При этомъ Лангле не настаиваетъ, что онъ опредѣлилъ крайній предѣлъ теплового спектра; онъ только говоритъ, что, если далѣе означеннаго предѣла и существуютъ признаки теплоты, въ солнечномъ спектрѣ, то они должны быть неизмѣримо малы.

И такъ, каждый лучъ солнца приноситъ на земную поверхность нѣкоторый запасъ энергіи. Въ силу тройного своего

*) Согласно обозначеніямъ Лангле, 1 μ = 0.001 мм. = 10,000 единицъ шкалы Ангстрема.

Приводимъ при этомъ длины волнъ, найденныя для свѣтлой части солнечнаго спектра Ангстремомъ, а для ультра-фіолетовой—Маскаромъ.

Линіи спектра.	λ въ милліон. дол. миллиметра.	Линіи спектра.	λ въ милліон. дол. миллиметра.
A	760.4	G	431.0
B	686.67	Средняя фіолетовая	423.0
C	656.18	H	393.0
Средняя красная	620.0	L	379.1
D	589.0	M	365.7
Средняя желтая	551.0	N	349.8
E	527.0	O	336.0
Средняя зеленая	512.0	P	329.0
F	486.0	Q	323.2
Средняя голубая	475.0	R	309.1
Средняя синяя	449.0		

дѣйствія, солнечное лучеиспусканіе играетъ замѣчательную роль въ жизни нашей планеты. Лучи солнца освѣщаютъ поверхность земли и прилегающую къ ней атмосферу, обусловливая въ тоже время тепловыя и химическія явленія, безъ которыхъ матерія оставалась бы инертною, неспособною къ жизненнымъ проявленіямъ.

Какъ освѣщающая сила, солнечные лучи имѣютъ лишь второстепенное значеніе въ жизни земного шара; химическія же и тепловыя дѣйствія солнечнаго свѣта играли главнѣйшую роль при самомъ развитіи нашей планеты, играютъ ее и въ настоящее время въ экономіи природы*).

Не удивительно поэтому, что естествоиспытатели издавна дѣлали попытки къ измѣренію напряженности солнечныхъ лучей; но только въ наше время, благодаря общему развитію физико-математическихъ знаній, явилась возможность ближе подойти къ рѣшенію этого вопроса.

*) «Было время, говоритъ Фогель («Химическія дѣйствія свѣта»), когда атмосфера содержала гораздо больше углекислоты, нежели теперь. Когда жидкія, огненныя массы, составлявшія нѣкогда землю, постепенно застыли, пары воды осѣли въ видѣ морей, тогда большая часть углерода земли находилась въ атмосферѣ въ сожженномъ состояніи, т. е. въ соединеніи съ кислородомъ, въ видѣ углекислоты. Воздухъ въ то время былъ несравненно богаче углекислотою, нежели теперь. Когда наконецъ земля достаточно остыла для появленія растительности, то на теплой почвѣ, подъ вліяніемъ солнечнаго свѣта, стали произрастать гигантскія растенія, которыя роскошно развивались въ атмосферѣ, богатой углекислотою. Углеродъ углекислоты переходилъ въ деревья, и такимъ образомъ въ теченіе тысячелѣтій количество его постепенно уменьшалось. Вскорѣ произошли перевороты на землѣ; цѣлыя страны съ ихъ лѣсами были погребены подъ пескомъ и глинистымъ иломъ; растенія сгнили и образовали каменный уголь. На вновь происшедшей почвѣ появилась новая растительность, которая также подъ вліяніемъ свѣта поглотила изъ атмосферы часть углекислоты и опять была погребена при новомъ переворотѣ. Такимъ образомъ углеродъ атмосферной углекислоты былъ глубоко погребенъ въ землѣ въ видѣ каменнаго угля, въ атмосферѣ же, благодаря химическому дѣйствію свѣта, все увеличивалось количество кислорода, и послѣ безчисленныхъ переворотовъ, земля стала такъ богата кислородомъ, что наконецъ сдѣлалось возможнымъ существованіе людей, появившихся въ концѣ процесса развитія земли».

Живая сила колебательныхъ движеній свѣтового эфира обусловливаетъ свѣтовыя впечатлѣнія, воспринимаемыя глазомъ, или же тратится на химическія реакціи тѣлъ, преобразовывается въ теплоту и въ электро-возбудительную силу.

Поэтому и измѣренія солнечной энергіи должны быть основаны на опредѣленіи впечатлѣнія, получаемаго глазомъ наблюдателя, или должны состоять въ измѣреніи произведенной лучами работы.

Въ этомъ послѣднемъ случаѣ мы имѣемъ возможность выражать солнечную энергію въ тѣхъ же абсолютныхъ единицахъ, какими въ настоящее время выражается теплота, электричество и магнетизмъ.

Всѣ методы, основанные на воспринимаемости впечатлѣній, могутъ быть названы физіологическими; они примѣняются преимущественно къ опредѣленію свѣтовой дѣятельности солнечныхъ лучей.

Измѣренія производимыхъ лучами дѣйствій составляютъ основаніе методовъ динамическихъ, связующихъ фотометрическія опредѣленія съ абсолютными единицами.

Само собою разумѣется, что динамическіе методы представляютъ большій научный интересъ, нежели оптическіе. Послѣдніе уже потому неудобны, что чувствительность глаза наблюдателя къ различнымъ цвѣтамъ не одинакова и ограничивается только небольшимъ рядомъ лучей извѣстной преломляемости.

Если бы вполнѣ были намъ извѣстны соотношенія между различными дѣйствіями лучей, то возможно было бы шаткіе физіологическіе методы замѣнить болѣе точными измѣреніями.

Лесли, допуская пропорціональность между оптическою и тепловою способностями лучей, старался опредѣлить свѣтовую силу солнца помощью термометра. Но такая пропорціональность доказана только для лучей однородныхъ, опредѣленной длины волнъ. Такъ Жаменъ и Массонъ нашли, что цвѣтныя стекла пропускаютъ пропорціональныя количества свѣта и теплоты про

стыхъ лучей. Поэтому, напримѣръ, можно сказать, что лучи желтаго цвѣта обусловливаютъ вдвое большее химическое дѣйствіе и даютъ вдвое больше теплоты, когда ихъ яркость вдвое большая; но нельзя утверждать, что желтый свѣтъ производитъ вдвое большее тепловое дѣйствіе, нежели красный, потому что онъ имѣетъ вдвое большую яркость. По опредѣленіямъ Бунзена и Роско*) для одного и того же источника свѣта химическое дѣйствіе пропорціонально свѣтовому напряженію, такъ какъ при этомъ они оба пропорціональны количеству образующейся окиси углерода. Но для разнородныхъ источниковъ отношенія между химическими и оптическими дѣйствіями совершенно различны. Особенно поразительны результаты произведеннаго Бунзеномъ и Роско сравненія солнечнаго свѣта со свѣтомъ магніевой проволоки. Въ то время, какъ оптическія напряженія лучей раскаленнаго магнія и солнечныхъ были въ отношеніи 1 : 525, химическія ихъ силы относились, какъ 1 : 37. Этимъ преобладаніемъ химическихъ лучей въ свѣтѣ магнія и пользуются въ настоящее время фотографы.

Въ заключеніе упомянемъ о весьма интересной попыткѣ Томсена**), имѣющей цѣлью измѣреніе силы свѣта посредствомъ механической работы. Сравнительные опыты надъ лучистой теплотой спермацетной свѣчи, газоваго пламени и лампы модераторъ показали Томсену, что тепловое лучеиспусканіе пропорціонально ихъ оптическому дѣйствію.

Далѣе Томсенъ нашелъ, что пламя спермацетной свѣчи, въ которой сгараетъ въ 1 часъ 8,2 грамма спермацета, отдѣляетъ въ одну минуту количество свѣта, которое въ состояніи нагрѣть 4,1 грамма воды на 1°С. Отсюда онъ находитъ, что полное лучеиспусканіе пламени (свѣтовое и тепловое) въ 50 разъ болѣе свѣтового.

---

*) Poggend. Annal. Bd. C, CI.

**) Ѳ. Ѳ. Петрушевскій. Курсъ наблюдательной физики. Томъ I. стр. 236.

Все же количество теплоты, отдѣляющейся при химическомъ процессѣ горѣнія въ свѣчѣ и въ лампѣ, въ 350 разъ болѣе теплоты, въ которую обращается свѣтъ. Для газоваго пламени послѣднее отношеніе доходитъ до 1000.

Подобныя же попытки къ измѣренію химическихъ дѣйствій въ тепловыхъ и механическихъ единицахъ, какъ мы увидимъ далѣе, сдѣланы были также Маршаномъ.

Но всѣ эти выводы слишкомъ шатки и во всякомъ случаѣ требуютъ новыхъ потвержденій

Такимъ образомъ соотношенія между свѣтовыми, тепловыми и химическими дѣйствіями лучей до сихъ поръ еще не установлены, и для полнаго изученія солнечной энергіи необходимы непосредственныя измѣренія ея во всѣхъ трехъ видахъ.

Но солнечная энергія, проходя въ видѣ лучей черезъ междупланетное пространство, на пути встрѣчаетъ цѣлый рядъ причинъ, вносящихъ свои модификаціи.

1. *Причины, зависящія отъ самого солнца.* Различныя точки солнечной поверхности могутъ посылать неодинаковое количество энергіи, которая, въ свою очередь, можетъ не въ одинаковой степени поглощаться солнечною атмосферою. Секки*) нашелъ, что фотосфера задерживаетъ 88% всей солнечной радіаціи, такъ что если бы солнце лишилось своей фотосферы, то напряженіе лучей увеличилось бы въ восемь разъ.

По наблюденіямъ того же Секки, тепловая радіація солнца вообще уменьшается отъ центра солнечнаго диска къ краямъ его и, кромѣ того, будто бы замѣчается ослабленіе радіаціи отъ солнечнаго экватора къ полюсамъ, при чемъ нѣсколько быстрѣе въ сѣверномъ полушаріи солнца, нежели въ южномъ.

Однако новѣйшія измѣренія Лангле показали**), что напряженіе лучей, хотя дѣйствительно уменьшается отъ центра къ

---

*) Secchi. Le soleil. Paris. 1875. Première partie p 169.

**) Sur la temperature relative des diverses regions du soleil Comptes Rendus. t. LXXX. 1875 p. 746 et 819.

краямъ солнечнаго диска, вслѣдствіе увеличенія слоя солнечной атмосферы, проходимой лучами, но при этомъ по всѣмъ радіусамъ въ одинаковой степени, такъ что оба полушарія посылаютъ одно и тоже количество энергіи.

Неодинаковое распредѣленіе солнечныхъ пятенъ въ различные годы можетъ вліять на количество энергіи, испускаемой солнечною поверхностью, какъ полагаетъ въ настоящее время Фрелихъ. Но для рѣшенія этого важнаго вопроса требуется цѣлый рядъ непрерывныхъ и многолѣтнихъ наблюденій.

2. *Вліянія космическія.* Солнечная радіація можетъ въ различной степени поглощаться междупланетною средою или кольцеобразными роями астероидовъ. Подобной гипотезы держатся нѣкоторые метеорологи, при объясненіи періодическихъ пониженій температуры. Но въ этомъ случаѣ, какъ справедливо замѣчаетъ Соре, также необходимъ длинный рядъ наблюденій, чтобы исключить преобладающее вліяніе земной атмосферы.

3. Наконецъ *причины теллурическія*, таковы: измѣненіе разстоянія земли отъ солнца, поглощеніе солнечной радіаціи земною атмосферою, въ зависимости отъ состава воздуха, а также отъ проходимой, въ различные часы одного и того же дня и въ различныя времена года, солнечными лучами атмосферной толщи. Изученіе методовъ измѣренія солнечной энергіи, а также всѣхъ ея модификацій, обусловливающихся теллурическими причинами, составитъ предметъ настоящей работы.

I. Методы измѣренія химической энергіи солнечныхъ лучей.

ГЛАВА I.

Изслѣдованія Бунзена и Роско.

§ 1. Для измѣренія химическихъ дѣйствій солнечныхъ лучей употребляются большею частью динамическіе фотометры, или актинометры.

При этомъ химическое напряженіе свѣта измѣряется:

1. Количествомъ тѣхъ веществъ, которыя образуются во время реакцій, вызванныхъ свѣтомъ, какъ въ приборахъ Дрепера, Бунзена и Роско, а также Маршана.

2 Сравненіемъ оттѣнковъ, принимаемыхъ чувствительною къ свѣту фотографическою бумагою (методъ Бунзена и Роско).

3. Напряженіемъ тока, возбуждающагося подъ вліяніемъ свѣта (методъ Беккереля).

§ 2. *Приборъ Дрепера.* Въ 1843 году Джонъ Дреперъ въ Нью-Іоркѣ *) впервые сталъ измѣрять химическое дѣйствіе свѣта количествомъ хлористо-водородной кислоты, образующейся въ устроенномъ имъ *титонометрѣ* (tithonometre), содержащемъ смѣсь равныхъ объемовъ хлора и водорода. Уменьшеніе объема

---

*) Poggend. Annal. für Physik und Chemie. Bd. C. p. 43.

этой смѣси, вслѣдствіе образованія хлористо-водородной кислоты, при дѣйствіи солнечныхъ лучей, отсчитывалось по особой шкалѣ и, въ теченіе короткаго промежутка времени, считалось пропорціональнымъ напряженію свѣта. Но примѣненіе этого химическаго процесса сопряжено съ большими затрудненіями, которыя были устранены лишь десять лѣтъ спустя Бунзеномъ и Роско.

§ 3. *Приборъ Бунзена и Роско.* Бунзенъ и Роско*) измѣнили методъ Дрепера, такъ какъ они нашли, что его титонометръ не можетъ быть примѣненъ къ точнымъ измѣреніямъ по слѣдующимъ причинамъ:

1. Для полученія сравнимыхъ результатовъ необходимо, чтобы составъ смѣси оставался однимъ и тѣмъ же во все продолженіе опыта; между тѣмъ въ приборѣ Дрепера это условіе совершенно не выполнимо.

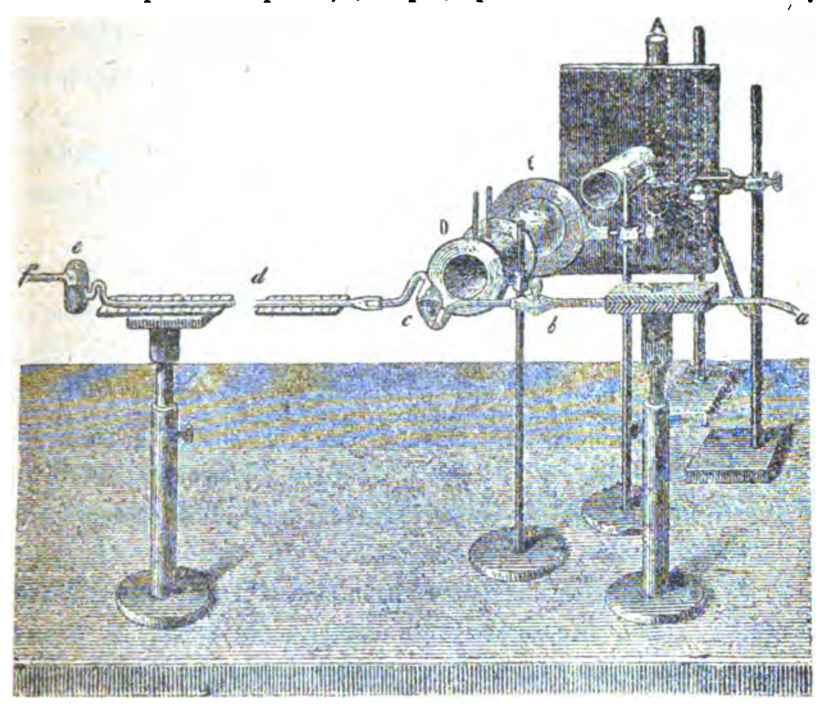
2. Въ титонометрѣ Дрепера жидкость и находящаяся надъ нею смѣсь газовъ во все продолженіе опыта подвержены измѣняющимся давленіямъ, а потому нельзя ожидать согласія въ показаніяхъ прибора, даже въ теченіе нѣсколькихъ минутъ.

Въ виду этихъ недостатковъ прибора Дрепера, Бунзенъ и Роско, послѣ долгихъ изысканій, пришли къ устройству болѣе раціональнаго фотометра (Chlorknallgasphotometer), для опредѣленія химической дѣятельности лучей въ сравнимыхъ и даже, по ихъ мнѣнію, въ абсолютныхъ единицахъ.

Приборъ Бунзена и Роско, въ окончательномъ видѣ, состоялъ изъ стеклянаго инсолятора c, соединеннаго съ длинною градуированною трубкою d, другой конецъ которой оканчивался расширеніемъ e, наполненнымъ водою. Полученные электролизомъ совершенно чистые газы посредствомъ трубки b проводились въ сосудъ c, содержащій отъ 2 до 3 кубическихъ сан-

*) Poggend. Annal. für Physik und Chemie. Bd. C. p. 43 und 481. Radau. Les Radiations chimiques du soleil. Paris. 1877. p. 11.

тиметровъ воды. Та часть сосуда c, которая занята водою, съ внѣшней стороны вычернена, для предохраненія отъ дѣйствія свѣта.



Фиг. 1.

До начала опыта газы въ теченіе долгаго времени пропускаются по трубкамъ, вслѣдствіе чего изгоняется изъ прибора воздухъ, а вода въ сосудахъ c и e насыщается этою смѣсью. Если затѣмъ подвергнуть смѣсь газовъ въ сосудѣ c дѣйствію свѣтовыхъ лучей, то образуется хлористо-водородная кислота, которая поглощается водою.

По мѣрѣ соединенія газовъ и уменьшенія объема смѣси, вода изъ резервуара e переходитъ въ градуированную трубку d и подвигается такимъ образомъ къ инсолятору c.

Числомъ дѣленій, на которое передвигается жидкость въ трубкѣ, въ теченіе извѣстнаго времени, опредѣляется количество образующейся кислоты и вмѣстѣ съ тѣмъ химическое напряженіе свѣта.

Лучи источника свѣта, находящагося за ширмою съ отверстіемъ, проходятъ черезъ трубку B и падаютъ на собирательное стекло C. Для задержанія тепловыхъ лучей служитъ трубка D, наполненная водою и закрытая стеклянными пластинками.

При помощи этого прибора Бунзенъ и Роско произвели цѣлый рядъ опытовъ, которые привели ихъ къ слѣдующимъ выводамъ:

1. Мнѣніе Дрепера, что хлористо-водородная кислота, при дѣйствіи электрическаго тока, никогда не даетъ равныхъ объемовъ хлора и водорода, ошибочно, такъ какъ полученная изъ хлористо-водородной кислоты путемъ электролиза смѣсь газовъ не только состоитъ изъ совершенно равныхъ объемовъ хлора и водорода, но въ тоже время не содержитъ кислорода и всѣхъ окисей хлора, которыя могутъ произойти отъ второстепенныхъ дѣйствій.

2. Химическое дѣйствіе на смѣсь хлора и водорода (Chlorknallgas), при постоянномъ напряженіи свѣта, въ началѣ опыта чрезвычайно слабо, потомъ мало-по-малу усиливается, достигая послѣ нѣкотораго промежутка времени максимума, и съ этого момента остается постояннымъ. Эта особенность явленія названа Бунзеномъ и Роско *фотохимическою индукціею.*

3. Время, потребное для начала дѣйствія фотохимической индукціи, уменьшается съ возрастаніемъ силы свѣта и при томъ гораздо быстрѣе.

4. Время, отъ начала индукціи до максимума дѣйствія, уменьшается съ возрастаніемъ силы свѣта и при томъ гораздо медленнѣе.

5. Индукція, при прекращеніи дѣйствія лучей, въ темнотѣ совершенно уничтожается, а при возобновленіи освѣщенія, вновь наступаетъ, слѣдуя тому-же самому закону.

6. Образующаяся въ инсоляторѣ теплота, вслѣдствіе фотохимическаго дѣйствія, хотя и вліяетъ на химическое сродство

хлора и водорода, не оказываетъ замѣтнаго вліянія на ходъ показаній прибора.

7. При внезапномъ измѣненіи силы свѣта въ показаніяхъ прибора замѣчается замедленіе, вслѣдствіе чего нужно выждать нѣсколько секундъ, пока температура инсоляціоннаго сосуда не сдѣлается постоянною.

Бунзенъ и Роско при своихъ измѣреніяхъ нуждались въ свѣтовомъ источникѣ, который въ теченіе долгаго времени имѣлъ бы постоянное напряженіе и въ тоже время служилъ единицею для фотохимическихъ измѣреній. Для этой цѣли они пользовались сперва свѣтомъ газовой горѣлки Скотта, а потомъ пламенемъ окиси углерода, при помощи устроенной ими горѣлки.

Бунзенъ и Роско измѣряли химическую силу свѣта количествомъ образующейся хлористо-водородной кислоты въ одну минуту. Но для этого имъ сперва надлежало разрѣшить весьма важный вопросъ: дѣйствительно-ли свѣтъ производитъ эту работу, т. е. сопровождается-ли химическое дѣйствіе соотвѣтственною затратою живой силы лучей? Для рѣшенія-же этого вопроса нужно было сравнить напряженіе свѣта до и послѣ прохожденія его черезъ поглощающую средину. Если, при одинаковыхъ прочихъ условіяхъ, поглощается срединою болѣе свѣта въ томъ случаѣ, когда происходитъ химическое дѣйствіе, то значитъ, реакція совершается на счетъ потери живой силы лучей.

Бунзенъ и Роско опредѣлили поглощеніе лучей въ чистомъ хлорѣ, въ смѣси хлора и воздуха и наконецъ въ чувствительной смѣси хлора и водорода.

Такъ какъ чистый хлоръ сильно поглощаетъ химически дѣйствующіе лучи, а водородъ почти не оказываетъ на нихъ никакого дѣйствія, то можно допустить, что въ чувствительной смѣси одинъ только хлоръ производитъ поглощеніе и, слѣдовательно, вычислить потерю, если бы свѣтъ, проходя черезъ

смѣсь, не производилъ никакого химическаго дѣйствія, и испытывалъ только обыкновенное оптическое ослабленіе.

Въ такомъ случаѣ потеря въ чувствительной смѣси была-бы равна поглощенію, производимому смѣсью равныхъ объемовъ хлора и воздуха. Между тѣмъ оказалось, что въ чувствительной смѣси потеря свѣта гораздо большая, нежели въ простой смѣси хлора и воздуха.

Поглощеніе опредѣлялось при помощи трубокъ, закрытыхъ на обоихъ концахъ стеклянными пластинками и содержащихъ поглощающія вещества. При этомъ принималось во вниманіе, что вслѣдствіе отраженія обѣими пластинками терялось 19% падающихъ лучей; поглощеніе же свѣта стекломъ было крайне слабое.

Если p означаетъ коэффиціентъ прозрачности средины, т. е. часть падающаго свѣта, прошедшую черезъ слой, толщиною въ 1 сантиметръ, то по извѣстной формулѣ Бугера, какъ это будетъ показано ниже, $J = J_0 p^e$, гдѣ J_0, J напряженіе лучей до и послѣ прохожденія ихъ черезъ слой, толщиною въ e сантиметровъ. Отсюда $\log p = \frac{\log J - \log J_0}{e}$.

Для газоваго пламени и хлора найдено было $p = 0{,}875$, откуда потеря свѣта $1 - p = 0{,}125$. Такимъ образомъ слой хлора, толщиною въ 1 сантиметръ, задерживаетъ $12\frac{1}{2}\%$ химическихъ лучей. Отсюда можно заключить, что 1 сантиметръ смѣси равныхъ объемовъ хлора и воздуха задерживаетъ только $6\frac{1}{2}\%$, что подтверждается непосредственными измѣреніями. Наконецъ 1 сантиметръ чувствительной смѣси поглощаетъ 9,4% тѣхъ-же лучей, откуда разность $9{,}4 - 6{,}5 = 2{,}9$ представляетъ химическое поглощеніе, эквивалентное образованію опредѣленнаго количества хлористо-водородной кислоты.

Подобныя измѣренія показали, что химическое дѣйствіе въ чувствительной смѣси хлора и водорода пропорціонально количеству поглощеннаго свѣта, а слѣдовательно, пропорціонально и напряженію падающихъ лучей. На основаніи такихъ измѣ-

реній Бунзенъ и Роско приняли эту чувствительную смѣсь, какъ актинометрическій реактивъ, и вмѣстѣ съ тѣмъ стали выражать напряженіе лучей въ кубическихъ сантиметрахъ образующейся хлористо-водородной кислоты. Такимъ образомъ для измѣренія фотохимической энергіи введенъ былъ ими *свѣтовой метръ* (lightmeter), выражающій напряженіе лучей, падающихъ на единицу поверхности смѣси хлора и водорода производящихъ въ одну минуту слой хлористаго водорода, толщиною въ одинъ метръ.

Но кромѣ абсолютной мѣры, Бунзенъ и Роско*) пользовались еще другою условною единицею, которая выражала химическое дѣйствіе нормальнаго пламени на инсоляторъ, находящійся на разстояніи 1 метра, въ теченіе одной минуты. Эта условная единица была названа *фотохимическою единицею*, а десять тысячъ такихъ единицъ составляли *фотохимическій градусъ*. Путемъ опыта опредѣлялось, сколько такихъ фотохимическихъ единицъ соотвѣтствуетъ одному дѣленію шкалы фотометра. Если, напримѣръ, одному дѣленію соотвѣтствовало n фотохимическихъ единицъ, то при отсчетѣ t дѣленій, все фотохимическое дѣйствіе въ условныхъ одиницахъ выражалось произведеніемъ nt. Въ приборѣ Бунзена и Роско одно дѣленіе трубки содержало 0,764 куб. мм. и соотвѣтствовало 1,512 фотохимической единицы, согласно вычисленіямъ Радо**), а не 0.661 единицы, какъ показано авторами.

Такимъ образомъ фотохимическая единица была эквивалентна 0,505 кубич. миллим. хлористо-водородной кислоты. Но въ таблицахъ Бунзена и Роско, по ошибкѣ, принятая единица представляетъ дѣйствіе нормальнаго пламени на разстояніи не

*) Poggend. Annal. für Physik und Chemie Bd. 108, p. 203.

**) Дѣйствіе нормальнаго пламени на разстояніи 0,176 м. эквивалентно 21,34 дѣл., или 0,661 дѣл. на разстояніи 1 метра. Слѣдовательно, одна фотохимическая единица соотвѣтствовала 0,661 дѣл. или 1 дѣленіе 1,512 фотохимической единицы.

Radau. Les radiations chimiques du soleil p. 25.

цѣлаго метра, а всего 0,661 метра, а поэтому, по Бунзену и Роско, она соотвѣтствуетъ 1,155 куб. миллим. хлористо-водородной кислоты, образующейся въ одну минуту. Тогда дѣйствіе фотохимическаго градуса, по Бунзену и Роско, эквивалентно образованію въ одну минуту 11,55 куб. сантим. хлористо-водородной кислоты, или, въ абсолютныхъ единицахъ, 0,444 метра для газоваго пламени и 0,111 метра для солнечныхъ лучей *).

§ 4. *Методъ фотографическій.* Въ 1860 году Буазенъ [Boisin] **) пытался примѣнить препарированную хлористымъ и бромистымъ серебромъ бумагу къ опредѣленію химической силы свѣта.

Но тогда не былъ еще извѣстенъ законъ, по которому съ теченіемъ времени измѣняются оттѣнки чувствительной бумаги, подъ вліяніемъ лучей различнаго напряженія.

Правда Малагути (Malaguti) и Генкель (Hänkel) ***) высказывали предположеніе, что *равнымъ произведеніямъ силы свѣта на продолжительность освѣщенія должны соотвѣтствовать равные оттѣнки*, но для рѣшенія вопроса о воз-

---

*) При газовомъ пламени фотохимическая единица давала 0,000505 куб. сант. кислоты, когда поверхность инсолятора равна была 3,3 кв. сантим. и глубина $e = 0,84$ сант. Поэтому фотохимическая единица, выраженная въ фотохимическихъ метрахъ, согласно формулѣ $A = A_0(1-p^e)$, равна $\frac{0,000505}{3,3(1-0906^{0,84})} = \frac{0,000505}{26}$, т. е. одна фотохимическая единица соотвѣтствуетъ слою кислоты въ 0,0193 мм.

Для солнечныхъ лучей $p = 0,642$ и $3,3\,(1-0,642^{0,84}) = 1,023$, почему фотохимическая единица $=$ 0,0049 мм. кислоты.

Такимъ образомъ слой кислоты, эквивалентный одной фотохимической единицѣ (т. е. 0,661 дѣл. трубки), въ четыре раза меньше во второмъ случаѣ, нежели въ первомъ.

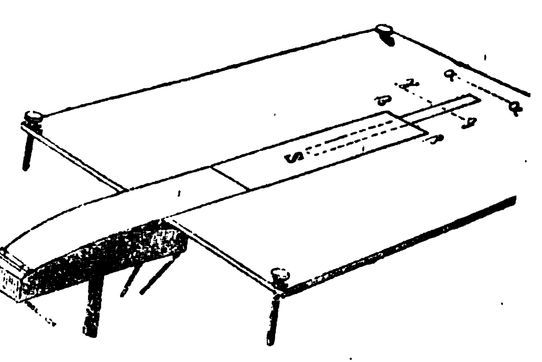
**) Phot. News 1860, p. 402.

***) Messungen über die Absorption der chemischen Strahlen des Sonnenlichtes. Abhandlungen der K. Sächs. Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig. 1862, Bd. 9, p. 55.

можности сравнимыхъ измѣреній необходимо было доказать во всей строгости справедливость и общность этого закона.

Съ этою цѣлью Вунзенъ и Роско*) произвели цѣлый рядъ весьма замѣчательныхъ изслѣдованій, при помощи маятника слѣдующаго устройства.

Въ металлической пластинкѣ, утвержденной при помощи винтовъ горизонтально, сдѣланъ былъ 15 миллиметровъ ширины и 190 миллиметровъ длины прорѣзъ, на который накладывалась чрезвычайно тонкая сверху вычерненная полоска слюды S, прикрѣпленная, какъ показано на чертежѣ 2, къ коромыслу качающагося маятника. Если маятникъ привести въ колебаніе, то означенная полоса будетъ открывать и закрывать сдѣланное въ пластинкѣ отверстіе. Чувствительную бумагу наклеиваютъ на металлическую задвижку, покрываютъ крышкою такъ, чтобы послѣдняя не касалась чувствительной бумаги, и вдвигаютъ въ боковой ящикъ, подъ прорѣзъ. Чтобы предохранить препаратъ отъ дѣйствія посторонняго свѣта, боковое отверстіе, куда вставляется задвижка, закрывается чернымъ сукномъ, затѣмъ снимается крышка и помощью особаго винта чувствительная бумага плотно прижимается къ остроконечнымъ краямъ прорѣза. До начала наблюденій отклоненный маятникъ удерживается устроеннымъ для этой цѣли рычагомъ, съ поднятіемъ котораго онъ приходитъ въ колебаніе, и потомъ вновь задерживается при помощи крючка того-же рычага.



Фиг. 2.

*) Poggendorf. Annalen für Physik und Chemie IV Reihe. Bd. 27, p. 530.

Такимъ образомъ, заставляя маятникъ совершить одно, два и т. д. качаній, получаемъ на чувствительной бумагѣ цѣлый рядъ послѣдовательныхъ оттѣнковъ, соотвѣтственно времени инсоляціи.

Положеніе каждаго оттѣнка опредѣляется въ миллиметрахъ, помощью особой шкалы, время-же инсоляціи легко найти, зная продолжительность каждаго колебанія а также амплитуду.

Пусть $\alpha\alpha_1$ означаетъ положеніе края полоски, когда маятникъ задерживается крючкомъ; $\beta\beta'$ — положеніе того-же края, когда маятникъ совпадаетъ съ отвѣсомъ, и $\gamma\gamma'$ положеніе края полоски по истеченіи времени t отъ начала колебанія. Если u означаетъ разстояніе $\gamma\beta$, a—амплитуду $\alpha\beta$, T—продолжительность одного простого колебанія, тогда $u = a \cos \frac{t}{T}\pi$.

Пусть t_1 означаетъ время, въ теченіе котораго край движущейся полоски, при обратномъ движеніи маятника, вновь возвращается въ положеніе $\gamma\gamma'$; тогда $t_1 = 2T - t$ и продолжительность инсоляціи точекъ $\gamma\gamma'$: $\tau = t_1 - t = 2(T - t) = \frac{2T}{\pi}\left(\pi - \arccos \frac{u}{a}\right)$; или-же $u = -a \cos \frac{\tau}{2T}\pi$.

При помощи описаннаго прибора Бунзенъ и Роско могли измѣрять съ точностью до 0,01 секунды времена инсоляціи, соотвѣтствующія равнымъ оттѣнкамъ, и на основаніи подобныхъ вычисленій и цѣлаго ряда опытовъ, имъ удалось во всей строгости доказать что *въ весьма широкихъ предѣлахъ равнымъ произведеніямъ силы свѣта на продолжительность инсоляціи соотвѣтствуютъ равные оттѣнки чувствительной бумаги, пропитанной хлористымъ серебромъ до одинаковой чувствительности.*

На основаніи этого важнаго предложенія явилась возможность выражать химическія дѣйствія свѣта въ сравнимыхъ единицахъ.

Если за фотохимическую единицу принять напряженіе свѣта, который въ единицу времени сообщаетъ чувствительной

бумагѣ нѣкоторый опредѣленный оттѣнокъ, то стоитъ только отыскать на полоскѣ, зачерненной при помощи маятника, этотъ нормальный оттѣнокъ, чтобы выразить напряженіе свѣта, соотвѣтствующаго какому-либо оттѣнку въ фотохимическихъ единицахъ. Пусть A и A_1 напряженія свѣта, t и t_1 времена для полученія одного и того-же оттѣнка. Тогда $At = A_1 t_1$, откуда $\frac{A}{A_1} = \frac{t_1}{t}$, т. е. свѣтовыя напряженія обратно пропорціональны временамъ для полученія одинаковыхъ оттѣнковъ. Если $A_1 = 1$ и $t_1 = 1$, то $A = \frac{1}{t}$.

При сравненіи снятой съ аппарата полосы съ нормальнымъ оттѣнкомъ, Вунзенъ и Роско поступали слѣдующимъ образомъ. На доскѣ наклеивалась шкала, означающая продолжительность инсоляціи для каждаго оттѣнка, а подъ нею снятая лента съ соотвѣтственными оттѣнками. Доска эта въ пазахъ могла передвигаться въ вертикальной плоскости, при чемъ различные оттѣнки проходили позади круглаго неподвижнаго отверстія, нижняя половина котораго была заклеена бумагою съ нормальнымъ оттѣнкомъ. Доска передвигалась до тѣхъ поръ, пока верхняя часть круглаго отверстія не сливалась совершенно съ нижнею половиною. Тогда по числу, означающему продолжительность инсоляціи, легко было опредѣлить соотвѣтственное напряженіе свѣта.

Чтобы предохранить чувствительную бумагу отъ дѣйствія посторонняго свѣта, Бунзенъ и Роско, во время сравненія оттѣнковъ, пользовались исключительно газовымъ пламенемъ, окрашеннымъ парами натрія. По ихъ наблюденіямъ, даже слабый дневной свѣтъ (а также свѣтъ восковой свѣчи) производитъ значительныя измѣненія въ оттѣнкахъ; свѣтъ-же паровъ натрія, не смотря на то, что предварительно концентрировался большимъ собирательнымъ стекломъ, оставался совершенно безвреднымъ для препарированной бумаги.

Для того, чтобы можно было всегда имѣть препараты одинаковой чувствительности, Бунзенъ и Роско тщательно изслѣдовали вопросъ, какое вліяніе оказываетъ на чувствительность бумаги густота раствора, природа бумаги, температура и влажность воздуха.

Изслѣдованія показали, что препарированная бумага получаетъ одинаковую чувствительность при погруженіи въ ванну, содержащую въ растворѣ 8,10 или 12 процентовъ серебра; но уже при 6% чувствительность значительно измѣняется.

Далѣе чувствительность бумаги остается одною и тою-же, будетъ-ли она погружена въ растворъ на 15 секундъ или на большій промежутокъ времени, доходящій до 8 минутъ; но если бумага находится въ растворѣ менѣе 15 секундъ, то чувствительность ея крайне незначительна.

Бунзенъ и Роско обыкновенно подвергали бумагу дѣйствію раствора въ теченіе 2 минутъ.

Съ увеличеніемъ содержанія хлористаго натрія чувствительность бумаги быстро увеличивалась, при чемъ предѣлъ увеличенія или уменьшенія этой чувствительности Бунзеномъ и Роско не найденъ.

Наиболѣе-же цѣлесообразнымъ признанъ растворъ, содержащій 3% хлористаго натрія, такъ какъ пропитываемая такимъ растворомъ бумага принимаетъ такое-же количество хлористаго натрія, какъ и вода. Препарированную бумагу при этомъ не оставляли на поверхности раствора, но погружали въ него на 5 минутъ, вслѣдствіе чего хлористый натрій усваивался бумагою равномѣрнѣе.

Толщина бумаги, а также измѣненія температуры и влажности, по видимому, не оказываютъ никакого вліянія на чувствительность бумаги.

Для полученія нормальнаго оттѣнка приготовлялась смѣсь изъ одной части ламповой копоти и 1000 частей цинковыхъ бѣлилъ; связью служила вода, съ прибавленіемъ 0,008 частей

рыбьяго клея. Краска въ теченіе часа растиралась на камнѣ, послѣ чего высушивалась и эта операція продолжалась до тѣхъ поръ, пока, при дальнѣйшемъ растираніи и высушиваніи, оттѣнокъ краски не оставался безъ измѣненія.

§ 5. *Самопишущій актинометръ Роско.* Въ 1874 году Роско далъ описаніе самопишущаго фотографическаго актинометра*), при которомъ трудъ наблюдателя, безъ всякаго ущерба для точности, сводится къ минимуму.

Узкая лента изъ чувствительной бумаги длиною въ 3 метра, навернутая на барабанъ, приводимый во вращеніе электрическими часами, движется подъ металлическою пластинкою, имѣющею круглое отверстіе 4 мм. въ поперечникѣ. Въ часахъ колесо A минутной стрѣлки соединено съ тремя другими колесами B, C и D, изъ которыхъ послѣднее совершаетъ свой полный оборотъ въ двѣ минуты. На периферіи этого послѣдняго металлическаго колеса расположены одиннадцать платиновыхъ булавокъ, возвышающихся на три миллиметра надъ поверхностью колеса. При вращеніи колеса, булавки одна за другою приходятъ въ металлическое соединеніе съ рычагомъ E, оканчивающимся платиновымъ наконечникомъ. Платиновыя булавки на колесѣ D такъ укрѣплены, что соприкосновеніе съ рычагомъ E продолжается всего лишь одинъ моментъ, и вслѣдъ затѣмъ сообщеніе вновь прерывается, до слѣдующей булавки. Такимъ образомъ въ продолженіе каждыхъ двухъ минутъ, когда колесо D совершаетъ полный оборотъ, токъ отъ сильной баттареи замыкается и прерывается 11 разъ. Промежутки времени, въ теченіе которыхъ токъ бываетъ прерванъ, различны, смотря по тому, какое разстояніе между платиновыми булавками. Для Англіи Роско нашелъ слѣдующіе промежутки наиболѣе цѣлесообразными:

№№ промежутковъ...	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
секунды............	2	3	4	5	7	10	12	17	20	30.

*) Poggend. Annal. für Phys. und Chem. Bd. 151, p. 268.

Для другихъ мѣстъ, сообразно съ напряженіемъ лучей, интервалы могутъ быть иные.

Въ моментъ прохожденія тока лента движется подъ пластинкою, такъ что послѣдовательныя точки чувствительной бумаги подвергаются инсоляціи отъ 2 до 30 секундъ и вслѣдъ затѣмъ въ продолженіе цѣлаго часа лента остается безъ движенія. Въ это время свѣтъ образуетъ на ней весьма черное круглое пятно.

Снятая вечеромъ съ прибора фотографическая бумага представляетъ, соотвѣтственно времени инсоляціи отъ 2 до 30 секундъ, рядъ круговъ различныхъ оттѣнковъ, и черезъ каждые десять весьма темные пятна.

Для предохраненія прибора отъ дождя его покрываютъ стекляннымъ колпакомъ. Потеря напряженія свѣта при прохожденіи черезъ стекло должна быть опредѣлена для каждаго прибора путемъ опыта.

ГЛАВА II.

Изслѣдованія Маршана.

§ 6. *Методъ Эдмонда Беккереля.* Въ 1868 году Беккерель примѣнилъ къ фотохимическимъ измѣреніямъ реакцію, которую парижскій фармацевтъ Планшъ изслѣдовалъ еще въ 1815 году *).

Планшъ подвергалъ дѣйствію солнечныхъ лучей жидкость, составляемую изъ смѣси равныхъ объемовъ насыщеннаго раствора двухлористой ртути (сулемы) и насыщеннаго раствора щавелевокислаго аммонія.

Приготовленная такимъ образомъ жидкость сохраняется въ темнотѣ безъ всякаго измѣненія; но при дѣйствіи свѣта дѣ-

---

*) Journal de Pharmacie. 1815. t. I p. 62.

лается мутною, выдѣляетъ углекислоту и даетъ бѣлый осадокъ однохлористой ртути (каломель).

Реакція эта происходитъ по слѣдующей формулѣ:

$$2HgCl + AzH^4o,C^2O^3 = Hg^2Cl + AzH^4Cl + 2CO^2.$$

Но Беккерель, воспользовавшись этимъ реактивомъ, нѣсколько измѣнилъ его составъ*). Для своихъ изслѣдованій онъ бралъ на 100 граммовъ воды 6,5 граммовъ двухлористой ртути и 12,5 гр. щавелевой кислоты.

Если эту жидкость подвергнуть дѣйствію солнечныхъ лучей или разсѣяннаго дневного свѣта, то она даетъ муть, причемъ образуется бѣлый осадокъ однохлористой ртути, безъ всякаго выдѣленія газа, по словамъ Беккереля («sans dégagement du gaz»).

Однако Маршанъ**), повторивъ опыты Беккереля, констатировалъ образованіе угольной кистоты въ достаточномъ количествѣ, почти согласно теоретическимъ выводамъ, на основаніи формулы:

$$2HgCl + C^2O^2 3HO = Hg^2Cl + 2CO^2 + HCl + 2H.$$

Кромѣ того Маршанъ нашелъ, что образующійся во время реакціи осадокъ едва составляетъ половину того количества, на которое можно было-бы расчитывать. Причину этого явленія Маршанъ видитъ въ томъ, что растворъ, сдѣлавшись мутнымъ, недостаточно пропускаетъ солнечные лучи, которые такимъ образомъ дѣйствуютъ только на внѣшніе слои жидкости.

На основаніи этого Маршанъ полагаетъ, что реактивъ Планша, измѣненный Беккерелемъ, не примѣнимъ къ измѣренію фотохимической энергіи.

§ 7. *Методъ Маршана.* Измѣнивъ нѣсколько методъ, предложенный въ 1857 году Д. Дреперомъ, Маршанъ устроилъ довольно простой фотохимическій приборъ, названный имъ фотантитюпиметромъ [photantitupimètre]***).

---

*) Ed. Becquerel: La lumière, ses causes et ses effets. t. II p. 69.
**) Marchand: Etude sur la force chimique. p. 23.
***) «Химическое дѣйствіе свѣта, говоритъ Маршанъ (Etude sur la force chimique, p. 2) обыкновенно называютъ актинизмомъ, но это выра-

Методъ Маршана, основанный на измѣреніи угольной кислоты, выдѣляющейся при дѣйствіи солнечныхъ лучей изъ воднаго раствора щавелевой кислоты и шестихлористаго желѣза, былъ впервые опубликованъ имъ въ 1873 году; во всей-же полнотѣ съ цѣлымъ рядомъ часовыхъ наблюденій, изложенъ въ его сочиненіи: «Étude sur la force chimique contenue dans la lumière du soleil, la mesure de sa puissance et la'détermination des climats qu'elle saractérise». Paris 1876.

Фотометрическая жидкость приготовлялась такимъ образомъ, что во все продолженіе опыта количества обоихъ реактивовъ оставались въ эквивалентномъ между собою отношеніи. При выполненіи этого условія, всѣ негазообразные продукты реакціи оставались въ растворѣ. Если-же, напротивъ, былъ излишекъ щавелевой кислоты, то получался желтый нерастворимый осадокъ щавелево-кислой закиси желѣза, который мутилъ фотометрическую жидкость и замедлялъ ходъ реакціи. Маршанъ убѣдился, что эта чувствительная жидкость въ темнотѣ не подвергается никакимъ измѣненіямъ, даже если повышать ея температуру до кипѣнія; но нагрѣваніемъ при дѣйствіи солнечныхъ лучей можно вызвать сильный и опасный взрывъ. Далѣе Маршанъ нашелъ, что приготовленная такимъ образомъ жидкость не замерзаетъ при пониженіи температуры на нѣсколько градусовъ ниже нуля, что весьма важно при производствѣ наблюденій въ зимнее время. Такъ напр. при—8°C растворъ оставался еще жидкимъ и подъ вліяніемъ солнечныхъ лучей выдѣлялъ углекислоту.

Фотантитюпиметръ Маршана состоитъ изъ низкаго стекляннаго флакона (90—100 куб. сант.), внѣшняя поверхность ко-

---

женіе не удобно: происходя отъ ακτῖνος, оно выражаетъ только освѣщающую силу солнечнаго луча. Я предлагаю удержать его единственно только въ этомъ смыслѣ, химическую-же силу, которою одаренъ солнечный свѣтъ, называть словомъ antitupie: происходя отъ αντιτυπια, оно означаетъ движеніе реакціи, и чтобы лучше характеризовать силу, о которой идетъ рѣчь, я буду обозначать ее словомъ Photantitupie».

тораго покрыта толстымъ слоемъ чернаго лака, за исключеніемъ кружка въ 5 — 10 кв. сантиметровъ. Черезъ этотъ прозрачный кружекъ солнечные лучи проникаютъ въ приборъ и производятъ дѣйствіе на чувствительную жидкость.

Маршанъ приготовлялъ свой чувствительный реактивъ по слѣдующему рецепту:

Кристаллизованной щавелевой кислоты, содержащей 96,5% чистой кислоты, 50 гр.

Дистиллированной воды, насыщенной углекислотою въ количествѣ, достаточномъ для того, чтобы наполнить объемъ 1 литра.

Что-же касается шести-хлористаго желѣза, то онъ долженъ быть приготовленъ весьма тщательно. Для этого заставляютъ дѣйствовать до насыщенія хлоръ на нейтральный растворъ одно-хлористаго желѣза, перегоняя вдуваніемъ воздуха въ избыткѣ хлоръ и приводя растворъ, безъ всякаго нагрѣванія, къ плотности 1.200, что соотвѣтствуетъ 24 градусамъ ареометра Бомэ.

Приведенная къ такой степени концентраціи, жидкость должна быть насыщена углекислотою.

Послѣ этого въ флаконъ вводится:

Шести-хлористое желѣзо, жидкое 24°Б, насыщенное углекислотою......10 куб. сантим.

Нормальный растворъ щавелевой кислоты, насыщенный углекислотою,........ 20 куб. сант.

Вода, насыщенная углекислотою, въ количествѣ достаточномъ, для наполненія флакона.

Наконецъ флаконъ запирается пробкою, черезъ которую проходитъ черная трубка BB′, изогнутая на концѣ такимъ образомъ, что она едва поднимается надъ верхнимъ уровнемъ жидкости. Трубка BB′ служитъ для провода образующейся углекислоты подъ градуированный колоколъ E, наполненный глицериномъ 28°—30° по ареометру Бомэ.

Колоколъ E погруженъ въ ванну C, оканчивающуюся цилиндромъ C′, также съ глицериномъ.

Маленькая трубка t предназначена для того, чтобы глицеринъ, вытѣсняемый изъ подъ колокола углекислотою, могъ переливаться въ сосудъ V и чтобы такимъ образомъ уровень глицерина въ ваннѣ C оставался постояннымъ.

Наконецъ градуированный колоколъ и ванна заключены въ ящикъ, для предохраненія отъ внѣшнихъ вліяній.

Наблюденія производятся слѣдующимъ образомъ:

Флаконъ A, наполненный чувствительною жидкостью, помѣщается въ горизонтальномъ положеніи на столѣ TT такимъ образомъ, чтобы прозрачный кружекъ былъ обращенъ къ зениту. При дѣйствіи солнечныхъ лучей шести-хлористое желѣзо приводится къ одно-хлористому, хлористо - водородная кислота дѣлается свободною, а щавелевая кислота обращается въ углекислоту, которая выдѣляется и переходитъ въ колоколъ E; при этомъ чувствительная жидкость обезцвѣчивается.

По словамъ Маршана, реакція совершается правильно до тѣхъ поръ, пока не выдѣлится 260 куб. сант. газа. Послѣ этого жидкость теряетъ свою чувствительность, а реакція уже не пропорціональна напряженію свѣта. Отсчетъ выдѣляющагося газа возможенъ во всякое время, лишь-бы только одновременно отмѣчалась температура газа и атмосферное давленіе, подъ дѣйствіемъ котораго онъ находится.

Вмѣсто того, чтобы помѣщать флаконъ горизонтально, можно прикрѣпить его къ геліостату, такъ чтобы въ теченіе цѣлаго дня на него падали перпендикулярные лучи солнца.

По окончаніи наблюденія, открывъ кранъ при вершинѣ колокола E, опускаютъ его въ цилиндръ до тѣхъ поръ, пока глицеринъ не поднимется до нуля нанесенныхъ на колоколъ дѣленій; затѣмъ кранъ запирается, и колоколъ вновь поднимается. Что касается чувствительной жидкости, то для возобновленія ея, изъ флакона выливается 30 куб. сантиметровъ и вмѣсто этого вво-

дится смѣсь 10 куб. сант. 6-ти хлористаго желѣза и 20 куб. сант. щавелевой кислоты. Обѣ эти жидкости, какъ было уже сказано, должны быть насыщены углекислотою, при чемъ для точности наблюденій необходимо, чтобы онѣ постоянно поддерживались въ этомъ состояніи. Насыщеніе раствора углекислотою необходимо потому, что въ этомъ случаѣ приборъ начинаетъ давать вѣрныя показанія съ перваго-же момента дѣйствія свѣта; въ противномъ же случаѣ образующаяся углекислота сначала поглощается самымъ растворомъ, а потому отсчетъ на градуированной трубкѣ въ началѣ неправильный.

Необходимо также имѣть въ виду, что объемъ выдѣляемой углекислоты измѣняется съ температурою и барометрическимъ давленіемъ.

Съ увеличеніемъ давленія растворимость газа жидкостью увеличивается, а потому выдѣленіе его подъ колоколомъ замедляется. Уменьшеніе давленія производитъ обратное дѣйствіе.

Тоже самое нужно сказать относительно измѣненій температуры: пониженіе температуры увеличиваетъ растворимость газообразныхъ тѣлъ, повышеніе температуры—уменьшаетъ ея.

Образующуюся углекислоту Маршанъ собираетъ надъ глицериномъ на томъ основаніи, что эта жидкость почти совсѣмъ не поглощаетъ углекислоты. Дѣйствительно, по наблюденіямъ Маршана, объемъ 276,4 куб. сант. углекислоты, находящейся надъ глицериномъ, по истеченія 460 дней, уменьшился до 255,8 куб. сант., такъ что потеря въ теченіе этого времени не превышала 7,5% первоначальнаго объема.

Съ другой стороны глицеринъ можетъ быть употребляемъ безъ опасенія и зимою, такъ какъ онъ не замерзаетъ и при —28°C.

Кромѣ того, глицеринъ, болѣе доступный по своей дешевизнѣ, имѣетъ плотность въ 10—12 разъ меньшую, нежели ртуть, а потому представляетъ во столько-же разъ меньшее сопротивленіе собирающейся подъ колоколомъ углекислотѣ.

Приборъ, подобный актинометру Маршана, былъ устроенъ въ позднѣйшее время Варнерке *), который за фотометрическую жидкость также взялъ смѣсь щавелевой кислоты и хлористаго желѣза, но только въ другомъ отношеніи, а именно:

хлористаго желѣза........	60 частей
щавелевой кислоты........	16.5 »
воды..................	60.0 »

Растворъ этотъ насыщался углекислотою, спустя нѣкоторое время, послѣ выставленія прибора на свѣтъ.

ГЛАВА III.

Примѣненіе электрическаго тока къ фотохимическимъ измѣреніямъ.

§ 8. *Методъ Эдмонда Беккереля.* Въ 1839 году Беккерель **) нашелъ, что подъ вліяніемъ свѣта развивается электрическій токъ въ элементахъ, состоящихъ изъ металловъ и слабыхъ водныхъ растворовъ кислотъ, щелочей и солей. Вообще онъ замѣтилъ, что, если погрузить двѣ металлическія пластинки въ слабый водный растворъ и подвергнуть одну изъ нихъ дѣйствію свѣтовыхъ лучей, а другую помѣстить въ темнотѣ, то является токъ, обнаруживаемый чувствительнымъ гальванометромъ.

Такъ напримѣръ Беккерель погружалъ въ растворъ платиновыя пластинки, которыя предварительно были накалены до красна, и соединялъ ихъ съ гальванометромъ, имѣющимъ отъ 25,000 до 30,000 оборотовъ. Тогда освѣщаемая лучами пластинка заряжалась отрицательнымъ электричествомъ въ щелочномъ растворѣ и положительнымъ—въ кислотѣ, при чемъ отклоненіе стрѣлки гальванометра доходило до нѣсколькихъ градусовъ.

*) Phot. News 1880 p. 39.
**) Becquerel: La lumière, ses causes et ses effets, t. II, p. 121.

Сначала Беккерель полагалъ, что причину этого явленія слѣдуетъ искать только въ нагрѣваніи освѣщаемой солнечными лучами пластинки; однако, помѣщая на пути лучей окрашенныя средины и измѣряя въ тоже время при помощи термоэлектрическаго столбика тепловыя дѣйствія, онъ вскорѣ убѣдился, что на погруженныя въ растворъ платиновыя или золотыя пластинки преимущественно дѣйствуютъ сильно преломляющіеся, нетепловые лучи. Такъ напримѣръ лучи при прохожденіи черезъ желтыя и красныя стекла почти не оказываютъ никакого дѣйствія на металлическія пластинки.

Подобные же результаты дали и отдѣльныя части солнечнаго спектра. Беккерель нашелъ, что красная, оранжевая, желтая и зеленая части спектра почти никакого не оказываютъ дѣйствія, голубая и синяя—слабое, а фіолетовая, напротивъ, оказываетъ очень сильное дѣйствіе на погруженныя въ растворъ металлическія пластинки. Аналогичныя опыты были произведены въ 1858 году Грове, который изслѣдовалъ токи, возбуждающіеся при дѣйствіи лучей на одну изъ двухъ платиновыхъ пластинокъ, погруженныхъ въ слабый водный растворъ сѣрной, соляной или азотной кислотъ *). По мнѣнію Грове, причина подобныхъ токовъ зависитъ отъ вліянія свѣта на поляризованныя электроды. Объ опытахъ Беккереля Грове не говоритъ ни слова, хотя въ своемъ сочиненіи «Соотношеніе физическихъ силъ» приводитъ опытъ съ дагеротипными пластинками. Удивительно, что при всѣхъ вышеупомянутыхъ опытахъ не замѣчалось никакой химической реакціи. Беккерель полагалъ, что явленія эти зависятъ отъ незначительныхъ слѣдовъ органическихъ веществъ, находящихся на металлическихъ пластинкахъ, такъ какъ подобныя вещества обнаруживаютъ стремленіе окисляться при дѣйствіи свѣта. Кромѣ того, по мнѣнію Беккереля, можно предполагать, что свѣтъ нарушаетъ равновѣсіе молекулъ металлическихъ пластинокъ. Впрочемъ первое предположеніе ему кажется болѣе правдоподобнымъ.

*) Annal de chemie et de Phys. ser. 3, t. 56, p. 99.

Впослѣдствіи Беккерель замѣтилъ, что если покрыть неокисляемыя металлическія пластинки разлагающимся на свѣтѣ веществомъ, то, въ моментъ раздѣленія элементовъ, развивается электрическій токъ, который можетъ быть очень сильнымъ.

Беккерель изслѣдовалъ въ этомъ направленіи хлористое и бромистое серебро. Лишь только платиновая пластинка, препарированная хлористымъ серебромъ и погруженная въ воду, выставлялась на свѣтъ, какъ начиналось разложеніе хлористаго серебра; при этомъ платиновая пластинка электризовалась положительно, а жидкость отрицательно.

Вводя въ цѣпь гальванометръ, Беккерель изучилъ дѣйствіе окрашеннаго свѣта, а также отдѣльныхъ частей солнечнаго спектра на хлористое серебро. Оказалось, что только голубые, фіолетовые и ультра-фіолетовые лучи способны вызывать подобныя явленія.

Оперируя съ пластинками, покрытыми бромистымъ серебромъ, Беккерель нашелъ, что возбуждающійся токъ сначала былъ сильнѣе, чѣмъ при хлористомъ серебрѣ (въ отношеніи 25 : 16), но, по истеченіи нѣкотораго времени, онъ совсѣмъ прекращался.

При іодистомъ серебрѣ первоначальный токъ былъ почти такой же силы, какъ и при хлористомъ, но также не отличался постоянствомъ.

Результаты, отличные отъ прежнихъ, получилъ Беккерель при употребленіи пластинокъ изъ измѣняющагося металла, какъ напримѣръ изъ серебра. Пластинки эти предварительно подвергались дѣйствію паровъ хлора, брома или іода. Серебряная пластинка, покрытая тонкимъ слоемъ іодистаго серебра, при дѣйствіи лучей электризовалась положительно, а при толстомъ слоѣ—отрицательно. Въ обоихъ случаяхъ отклоненіе стрѣлки гальванометра при дѣйствіи солнечныхъ лучей, доходило до 45°—50°, а при разсѣянномъ свѣтѣ до 10°—15°.

Серебряная пластинка, покрытая парами брома, электризовалась отрицательно, а жидкость, въ которую она погружалась — положительно. Обнаруживаемое дѣйствіе было весьма сильно, и даже при разсѣянномъ свѣтѣ отклоненіе стрѣлки доходило до 50°; но спустя нѣкоторое время, реакція прекращалась.

При употребленіи пластинки, покрытой парами хлора, дѣйствіе было весьма слабо; однако довольно значительное усиленіе замѣчалось въ томъ случаѣ, когда серебряная пластинка покрывалась слоемъ полухлористаго серебра, фіолетоваго цвѣта.

На основаніи такихъ опытовъ, Беккерель въ 1841 году построилъ электрохимическій актинометръ, состоящій изъ стекляннаго сосуда, въ который при помощи особыхъ подставокъ опускались металлическія пластинки. Весь приборъ помѣщается въ ящикѣ, который на сторонѣ, параллельной вставленнымъ пластинкамъ, имѣетъ для прохода лучей отверстіе, регулируемое винтомъ.

Наилучшіе результаты получаются при выполненіи слѣдующихъ условій.

1. Гальванометръ долженъ быть какъ можно болѣе чувствительнымъ.

Довольно удовлетворительные результаты получались при 3000 оборотовъ въ приборѣ, построенномъ Румкорфомъ.

Наилучшіе же результаты получаются при употребленіи гальванометра съ 20000—25000 оборотовъ.

2. При приготовленіи фотометрическаго раствора нужно взять на 100 граммовъ воды 2 грамма сѣрной кислоты.

3. Серебряныя пластинки, по возможности тождественныя, покрывались при помощи гальваническаго тока хлоромъ въ такомъ количествѣ, что принимали фіолетовый цвѣтъ четвертаго порядка; затѣмъ нагрѣвались до 150°—200°, для сообщенія имъ розоватаго оттѣнка

При соблюденіи означенныхъ предосторожностей, приборъ обнаруживалъ большую чувствительность, и вызываемыя свѣтомъ дѣйствія были довольно постоянны.

Не смотря на то, что Беккерель подвергалъ дѣйствію свѣта только незначительную часть поверхности пластинки, отклоненія гальванометра доходили до 20°—30°. Даже свѣтъ восковой свѣчи на разстояніи 10 сантиметровъ производилъ отклоненіе на 12°—15°.

Изъ этихъ и многихъ другихъ опытовъ, произведенныхъ при солнечномъ свѣтѣ, Беккерель убѣдился, что если дѣйствіе всякій разъ продолжалось не болѣе 1 — 2 минутъ, приборъ удерживалъ на цѣлый день одинаковую чувствительность, такъ что имъ можно было пользоваться для цѣлаго ряда наблюденій. Однако, по изслѣдованіямъ Беккереля, отклоненія стрѣлки, а слѣдовательно и сила электрическаго тока, не пропорціональны химическимъ реакціямъ и напряженію свѣта. Эти отклоненія могутъ служить только указаніемъ, какъ вообще измѣняется химическое напряженіе свѣта при извѣстныхъ условіяхъ.

При помощи своего электрическаго актинометра Беккерель изслѣдовалъ дѣйствіе различныхъ частей спектра на іодистое и на фіолетовое полухлористое серебро. Онъ замѣтилъ, что дѣйствіе на іодистое серебро начинается уже при темной полосѣ F и достигаетъ максимума между G и H; отсюда чувствительность убываетъ, и далѣе черты P не замѣчается никакого дѣйствія.

Когда же Беккерель началъ свои изслѣдованія съ ультрафіолетоваго конца спектра, то замѣтилъ довольно сильное дѣйствіе не только при E, но даже въ желтомъ, оранжевомъ и красномъ цвѣтахъ; далѣе A не замѣчалось уже никакого дѣйствія. Причину этого удивительнаго явленія, по мнѣнію Беккереля, слѣдуетъ приписать тому, что, если наблюденія начинаются отъ краснаго конца, то іодистое серебро, раньше не подвергавшееся никакому свѣтовому дѣйствію, не чувствительно

къ малопреломляющимся лучамъ. Напротивъ, если наблюденія начинаются съ противоположнаго конца, то іодистое серебро, вслѣдствіе дѣйствія на него преломляемыхъ лучей, дѣлается чувствительнымъ и къ красному концу спектра. На этомъ основаніи послѣдніе лучи названы были Беккерелемъ *продолжающими* (rayons continuateurs). Подобные же результаты получены были Беккерелемъ и при опытахъ съ полухлористымъ серебромъ.

Описанный нами электрическій фотометръ былъ примѣненъ Лермантовымъ для фотохимическихъ измѣреній въ Петербургѣ *).

Методъ Беккереля, съ нѣкоторыми измѣненіями, былъ примѣненъ къ фотохимическимъ измѣреніямъ въ 1880 году Минхинымъ **), который изслѣдовалъ также дѣйствіе окрашенныхъ лучей и нашелъ, что цвѣта голубой и фіолетовый вызываютъ довольно замѣтное дѣйствіе, а красный весьма слабое.

§ 9. *Электрическій фотометръ Н. Г. Егорова.* Желая опредѣлить коэффиціенты поглощенія ультра-фіолетовыхъ лучей, Н. Г. Егоровъ предпринялъ повтореніе опытовъ Беккереля надъ токами, развивающимися во время дѣйствія свѣта на чувствительныя дагеротипныя пластинки, погруженныя въ видѣ электродовъ въ 2% растворъ сѣрной кислоты ***).

Г. Егоровъ нашелъ возможнымъ примѣнить къ своимъ изслѣдованіямъ методъ Тиндаля, принятый при опредѣленіи коэффиціента поглощенія тепловыхъ лучей, но на слѣдующихъ условіяхъ:

1. Актинометры Беккереля должны были служить для большого ряда наблюденій.

2. Сила тока должна была измѣряться съ точностью по крайней мѣрѣ до 5%—10%.

3. Пластинки должны быть одинаковой чувствительности.

*) Brit Journal. of Phot. 1880 p. 6.

**) Prot News 1880 p. 421.

***) Журналъ Русск. Физико-Химич. Общ. 1877, т. IX.

Предварительныя наблюденія сдѣланы были лѣтомъ 1875 г.*).

Пластинки, которыя іодировались въ продолженіе десяти минутъ, нѣсколько разъ подвергались дѣйствію солнечныхъ лучей въ двухъ актинометрахъ, соединенныхъ проводникомъ другъ противъ друга. Дифференціальный токъ въ гальванометрѣ Дюбуа—Реймона былъ нуль, не смотря на то, что въ каждомъ актинометрѣ сила тока доходила до 20°.

Эти опыты побудили Н. Г. Егорова продолжать изслѣдованія зимою, въ бытность его въ Парижѣ.

Его электрическій фотометръ, выполненный Дюбоскомъ, состоялъ изъ двухъ четыреугольныхъ ящиковъ, съ кварцевыми стѣнками, для меньшей потери ультра-фіолетовыхъ лучей при прохожденіи ихъ къ чувствительнымъ пластинкамъ. Оба сосуда вставлены въ деревянную раму и снабжены эбонитовыми крышками съ прорѣзами для закрѣпленія серебряныхъ пластинокъ, покрытыхъ слоемъ іодистаго или хлористаго серебра. Деревянная рама закрывалась подвижной мѣдной пластинкой съ двумя щелями, расположенными соотвѣтственно актинометрамъ. Щели имѣли микрометренное движеніе и могли располагаться передъ различными частями чувствительныхъ пластинокъ. Кромѣ этой рамы между щелями и актинометрами помѣщался эбонитовый экранъ, который можно было выдвигать во время свѣтового дѣйствія.

Съ оборотной стороны актинометры закрывались сплошной пластинкой, на мѣсто которой можно было вдвинуть вышеописанную мѣдную доску со щелями. Дѣлалось это въ томъ случаѣ, когда пластинки, находящіяся по одну сторону рамы, становились совершенно негодными для наблюденій, и требовалось воспользоваться пластинками, обращенными къ другой сторонѣ. Въ этомъ случаѣ, для продолженія наблюденій, сплошная пластинка и доска со щелями перемѣщались одна на мѣсто другой, а весь приборъ поворачивался на 180°. Наконецъ диф-

*) Пачинотти, затѣмъ Ганкель наблюдали подобныя же явленія на чистыхъ металлич пластинкахъ, погруженныхъ въ растворы (Wied. Ann. I, p. 402, 1877).

ференціальный актинометръ можно было перемѣщать при помощи кремальера въ различныхъ частяхъ спектра.

Особенно тщательно приготовлялись г. Егоровымъ чувствительныя пластинки по методу Беккереля. Пластинки приготовлялись изъ химически-чистаго серебра, тщательно вычищались лавандовымъ масломъ и трепеломъ, и покрывались толстымъ слоемъ іодистаго серебра, фіолетоваго или желтаго цвѣта. Такія пластинки, подъ вліяніемъ свѣтовыхъ лучей, заряжались положительнымъ электричествомъ, а жидкость элемента — отрицательнымъ; между тѣмъ пластинки, золотисто-желтаго цвѣта, покрытыя тонкимъ слоемъ іодистаго серебра, электризовались отрицательно.

Варіируя цвѣта пластинокъ, г. Егоровъ замѣтилъ, что вообще, съ измѣненіемъ толщины и цвѣта іодистаго серебра, измѣнялась электровозбудительная сила элементовъ и чувствительность пластинокъ.

На основаніи этихъ фактовъ г. Егоровъ полагаетъ, что вѣроятно найдется такой слой, который не будетъ чувствителенъ къ свѣту, между тѣмъ ближайшіе къ нему сосѣдніе будутъ обусловливать, подъ вліяніемъ свѣтовыхъ лучей, противоположныя электровозбудительныя силы.

Послѣ того, какъ пластинки были покрыты слоемъ іодистаго или полухлористаго серебра, онѣ погружались въ слабый растворъ сѣрной кислоты и замыкались гальванометромъ въ 30000 оборотовъ.

Оба актинометра были изолированы другъ отъ друга эбонитовыми пластинками и могли быть соединены, между прочимъ, одинъ противъ другого.

Отклоненія стрѣлки гальванометра наблюдались при помощи зеркала и шкалы на разстояніи $1\frac{1}{2}$ метра.

Но при одновременномъ дѣйствіи свѣта на пластинки черезъ обѣ щели одинаковой ширины вообще не получался диф-

ференціальный токъ, равный нулю, такъ какъ трудно было подобрать пластинки, совершенно тождественнаго цвѣта.

Чтобы уравновѣсить электровозбудительныя силы приходилось или регулировать чувствительность пластинокъ, или-же соотвѣтственно измѣнять ширину щелей.

Мы видѣли, что еще Беккерель пытался найти зависимость между силою тока и напряженіемъ обусловливающаго его свѣта. Для этого Беккерель бралъ пучекъ расходящихся солнечныхъ лучей и, устанавливая на различныхъ разстояніяхъ актинометръ, регулировалъ ширину щели до тѣхъ поръ, пока току не соотвѣтствовало отклоненіе стрѣлки въ 30°. Опыты Беккереля не дали никакой простой зависимости.

Произведя рядъ опытовъ, г. Егоровъ пришелъ къ заключенію, что въ предѣлахъ возможности наблюденій существуетъ пропорціональность между электровозбудительною силою элемента и напряженіемъ свѣта.

Въ виду такой пропорціональности г. Егоровъ примѣнилъ свой фотометръ къ опредѣленію коэффиціентовъ поглощенія лучей.

За поглощательную средину взятъ былъ водный растворъ сѣрнокислаго хинина извѣстной крѣпости, такъ какъ по опытамъ Стокса только опредѣленной концентраціи сѣрнокислый хининъ даетъ наибольшую флуоресценцію.

Для этого предварительно устанавливалась передъ верхнимъ элементомъ съ іодированными пластинками стеклянная трубка 100 мм. длины и 20 мм. въ діаметрѣ, при чемъ щели открывались до тѣхъ поръ, пока дифференціальный токъ не становился равнымъ нулю. Послѣ этого трубка наполнялась растворомъ хинина; дифференціальный токъ измѣнялся, и отношеніе его къ силѣ тока каждаго элемента до прохожденія лучей черезъ растворъ давало величину поглощенія въ процентахъ.

Другою поглощательною срединою служило урановое стекло, пластинки-же были покрыты іодистымъ и полухлористымъ се-

ребромъ. Коэффиціенты поглощенія оказались различными, такъ какъ хлористое серебро чувствительно къ небольшой части крайнихъ фіолетовыхъ лучей, а іодистое весьма чувствительно къ крайнимъ ультра-фіолетовымъ лучамъ.

Интересна попытка г. Егорова — найти абсолютныя значенія электровозбудительныхъ силъ, развивающихся въ элементахъ съ чувствительными пластинками во время свѣтового дѣйствія.

Для этихъ опытовъ онъ воспользовался весьма чувствительнымъ электрометромъ Липмана, основанномъ на томъ законѣ, что каждой капилярной постоянной на границѣ двухъ разнородныхъ жидкостей отвѣчаютъ двѣ всегда опредѣленныя разности потенціаловъ.

Благодаря содѣйствію В. В. Лермантова, г. Егоровъ нашелъ, что въ ноябрѣ мѣсяцѣ въ полдень солнечный свѣтъ, при прохожденіи черезъ щель 30 мм., обусловливалъ собою электровозбудительную силу на іодир. пластинкахъ въ $^1/_{15}$ Даніеля. Свѣтъ-же керосиновой лампы съ круглой горѣлкой въ разстояніи 20 сантиметровъ и при щели въ 20 мм. развивалъ электровозбудительную силу всего въ 0.004 Даніеля. На основаніи полученныхъ результатовъ г. Егоровъ приходитъ къ заключенію, что электрическій фотометръ можетъ служить:

1. Для опредѣленія коэффиціента поглощенія ультрафіолетовыхъ лучей различными срединами.

2. Для изслѣдованія лучистой энергіи въ абсолютныхъ единицахъ.

3. Можетъ замѣнить физіологическій фотометръ, если устранить вліяніе на него тепловыхъ и ультра-фіолетовыхъ лучей соотвѣтственнымъ экраномъ *).

---

*) Въ послѣднее время весьма интересные опыты проф. А. Г. Столѣтова (Ж. Р Ф. Х. О. 21, 1889 г.) и италіанскаго ученаго Риги (Righi, Compt. R. 106, 107) показали, что и въ воздухѣ находящіеся металлы электризуются при освѣщеніи ихъ ультра-фіолетовыми лучами

ГЛАВА IV.

Общее заключеніе.

§ 10. Въ послѣднее время предложено было весьма много приборовъ, основанныхъ на различныхъ началахъ, для измѣренія химической энергіи свѣтовыхъ источниковъ вообще. Прекраснымъ указателемъ всѣхъ работъ по означенному вопросу можетъ служить книга Пиззигелли *).

Къ изученію же химической энергіи солнечныхъ лучей до настоящаго времени примѣнялись только разсмотрѣнные нами методы Бунзена и Роско, Марпана и отчасти Эдм. Беккереля.

Примѣненіе всѣхъ описанныхъ нами актинометровъ къ практическимъ цѣлямъ сопряжено съ большими затрудненіями, такъ какъ ни одинъ изъ разсмотрѣнныхъ методовъ не можетъ быть вполнѣ гарантированъ отъ цѣлаго ряда случайностей, могущихъ служить источникомъ немаловажныхъ ошибокъ.

Если измѣренія свѣтового дѣйствія на смѣсь хлора и водорода привели къ нѣкоторымъ выводамъ относительно химической энергіи солнечныхъ лучей и разсѣяннаго дневного свѣта, то только благодаря тому, что наблюденія велись такими опытными экспериментаторами, какъ Бунзенъ и Роско; кромѣ самихъ изобрѣтателей, никто не рѣшался примѣнить къ изученію солнечной энергіи этотъ трудный методъ. Бунзенъ и Роско, производя наблюденія, замѣтили, что показанія ихъ прибора зависятъ отъ фотохимической индукціи; промежутокъ времени, по истеченіи котораго ходъ реакціи становится равномѣрнымъ, опредѣлить не легко, такъ какъ онъ зависитъ отъ силы свѣта, а между тѣмъ вліяніе фотохимической индукціи можетъ быть весьма значительно.

Кромѣ того развивающаяся въ инсоляторѣ теплота должна вліять на химическое сродство хлора и водорода. Правда, Бунзенъ и Роско утверждаютъ, что вліяніе это не можетъ быть

*) Pizzighelli: Die Actinometrie—Wien und Leipzig. 1884.

чувствительно, но во всякомъ случаѣ относительно этого вліянія требуется большая осторожность.

Еще съ бо́льшими неудобствами сопряжены наблюденія по методу Маршана. Чувствительный растворъ его актинометра требуетъ постояннаго насыщенія углекислотою; кромѣ того, на показанія прибора вліяютъ температура и барометрическое давленіе, съ измѣненіемъ которыхъ измѣняется и растворимость газа. Наконецъ реактивная жидкость можетъ вообще съ теченіемъ времени измѣнять свою чувствительность къ свѣту.

Нѣсколько проще долженъ казаться фотографическій методъ, который имѣетъ еще то преимущество, что въ немъ напряженіе лучей не ослабляется стеклянными оболочками. Но съ другой стороны фотографическій методъ требуетъ самаго тщательнаго приготовленія чувствительной бумаги, и несоблюденіе при этомъ извѣстныхъ предосторожностей можетъ повлечь за собою, какъ мы увидимъ ниже изъ наблюденій г. Штеллинга, серіозныя ошибки.

При этомъ необходимо имѣть въ виду весьма важныя замѣчанія относительно фотохимическихъ измѣреній извѣстнаго химика Бертело.

§ 11. По мнѣнію Бертело*), не всѣ реакціи, происходящія подъ вліяніемъ свѣта, могутъ служить выразителемъ фотохимической энергіи лучей; роль эту могутъ успѣшно выполнять только реакціи, такъ называемыя *эндотермическія*.

Большинство реакцій обусловливаетъ выдѣленіе теплоты, какъ напримѣръ: въ случаѣ образованія хлористо-водородной кислоты, при свѣтовомъ дѣйствіи на смѣсь хлора и водорода, въ явленіяхъ окисленія, столь многочисленныхъ при фотографированіи, а также въ образованіяхъ солей серебра, золота и пр.

Въ этой группѣ *экзотермическихъ* реакцій, говоритъ Бертело, свѣтъ обусловливаетъ химическое дѣйствіе, но не онъ

---

*) Berthelot: «Sur l'action chimique de la lumière. Annales de physique et de chimie, septembre 1869. p. 83.

производитъ главную работу, т. е. не онъ доставляетъ тепло: здѣсь свѣтъ играетъ лишь роль спички, воспламеняющей костеръ.

Другія-же реакціи, *эндотермическія,* напротивъ, сопровождаются поглощеніемъ теплоты, какъ, напримѣръ, въ процессахъ питанія растеній именно свѣтовое дѣйствіе производитъ работу, требуемую для разложенія углекислоты. Свѣтъ производитъ также работу при разложеніи хлористаго серебра; но вообще эндотермическія реакціи не многочислены.

Поэтому, замѣчаетъ Бертело, необходимо имѣть въ виду такое различіе всякій разъ, когда говорятъ о химической работѣ свѣта.

Если, напримѣръ, фотохимическая энергія измѣряется количествомъ хлористо-водородной кислоты, образующейся изъ смѣси хлора и водорода, то, хотя при извѣстной осторожности, подобный методъ и можетъ дать сравнимые результаты, однако въ принципѣ онъ не вполнѣ точенъ. Такое измѣреніе равносильно опредѣленію количества теплоты, произведенной сжиганіемъ сѣрной спички, посредствомъ взвѣшиванія дровъ, сгарающихъ въ очагѣ, которому этою спичкою сообщенъ огонь.

Соединеніе хлора съ водородомъ развиваетъ огромную положительную работу, и такъ какъ невозможно отдѣлить и даже отличить ее отъ работы самого свѣта, то въ такомъ случаѣ является вопросъ: какимъ же образомъ можно измѣрить эту послѣднюю силу? Очевидно, для рѣшенія вопроса необходимо прибѣгнуть къ такимъ реакціямъ, въ которыхъ свѣтъ былъ бы дѣйствующею причиною; но не такъ-то легко остановиться на подобной реакціи, которая въ то же время могла бы служить для сравнимыхъ измѣреній. Въ самомъ дѣлѣ, здѣсь встрѣчается новое затрудненіе, такъ какъ различные лучи неодинаково дѣйствуютъ на одинъ и тотъ же реактивъ. Такъ, напримѣръ, разложеніе углекислоты листьями растеній совершается посредствомъ красныхъ и желтыхъ лучей, между тѣмъ разложеніе хлористаго серебра—фіолетовыми и ультра-фіолетовыми. Та-

кимъ образомъ результаты, полученные при изученіи одной реакціи, примѣнимы только къ этой самой реакціи и только къ извѣстному лучеиспусканію.

Эти замѣчанія знаменитаго химика нашего времени, безъ сомнѣнія, должны имѣть рѣшающее значеніе.

«Но дѣйствительно-ли, говоритъ Маршанъ *), во всѣхъ реакціяхъ экзотермическихъ свѣтъ играетъ роль спички, служащей для воспламененія костра»?

По мнѣнію Маршана, это можно сказать относительно соединенія хлора съ водородомъ, такъ какъ названные газы имѣютъ такое сильное сродство, что достаточно одной только электрической искры, для сообщенія первоначальнаго импульса.

Тѣмъ не менѣе, говоритъ Маршанъ, Бунзенъ и Роско примѣнили этотъ методъ съ такимъ искусствомъ, что «онъ привелъ ихъ къ выводамъ, сходнымъ съ тѣми, какія я самъ долженъ получить изъ моихъ наблюденій».

Что-же касается реакцій, происходящихъ въ фотантитюпиметрѣ, то онѣ, по мнѣнію Маршана, «совершаются точно въ отношеніи, указанномъ измѣреніемъ затраченной энергіи, ни болѣе, ни менѣе». Но мы увидимъ впослѣдствіи, какъ шатки начала, послужившія Маршану къ опредѣленію затраченной энергіи въ абсолютныхъ единицахъ.

§ 12. Изслѣдованія г. Егорова подаютъ надежду, что быть можетъ методъ Беккереля окажется наиболѣе плодотворнымъ. Вопросъ только въ томъ, возможно-ли, въ самомъ дѣлѣ, расчитывать на пропорціональность между электровозбудительною силою элемента и напряженіемъ свѣта? Беккерелемъ такая пропорціональность не найдена. Наблюденія г. Егорова указываютъ на возможность такой пропорціональности; во всякомъ же случаѣ вопросъ этотъ заслуживаетъ дальнѣйшихъ изслѣдованій.

---

*) Marchand, force chimique, p. 143.

Практическое неудобство можетъ встрѣтиться относительно приготовленія чувствительныхъ пластинокъ, такъ какъ напряженіе и родъ электричества, которыми пластинки заряжаются, зависятъ отъ толщины іодистаго и хлористаго серебра. Въ этомъ отношеніи, очевидно, нужна большая осторожность, для полученія сравнимыхъ результатовъ.

Нельзя упускать изъ виду еще одного весьма важнаго обстоятельства. Употребляемые для фотохимическихъ измѣреній реактивы обыкновенно чувствительны только къ извѣстнаго рода лучамъ. Между тѣмъ составъ солнечной радіаціи, достигающей земной поверхности, въ теченіе дня измѣняется, такъ какъ лучи, проходя черезъ атмосферу, претерпѣваютъ избирательное поглощеніе, т. е. особое для каждаго рода лучей. Такъ Беккерель нашелъ, что платиновыя или золотыя пластинки, погруженныя въ растворъ, наиболѣе чувствительны къ фіолетовымъ лучамъ; хлористое серебро чувствительно только къ небольшой части крайнихъ фіолетовыхъ лучей, а іодистое весьма чувствительно къ крайнимъ ультра-фіолетовымъ лучамъ. На реактивъ Маршана наибольшее дѣйствіе оказываютъ голубые лучи, а на смѣсь хлора и водорода—фіолетовые и ультра-фіолетовые.

Такимъ образомъ различные фотохимическіе актинометры измѣряютъ напряженіе лучей только извѣстной преломляемости, и показанія ихъ не могутъ быть строго сравнимы.

II. Методы измѣренія тепловой энергіи солнечныхъ лучей.

ГЛАВА V.

Законы охлажденія тѣлъ.

§ 13. *Термоактинометры.* Въ предыдущемъ отдѣлѣ были разсмотрѣны методы опредѣленія химической энергіи солнечныхъ лучей. Измѣреніе свѣтового дѣйствія, спеціально доступнаго нашему глазу, составляетъ задачу фотометріи и не входитъ въ планъ настоящей работы. Въ этомъ отдѣлѣ мы остановимся исключительно на методахъ измѣренія тепловой энергіи солнечныхъ лучей. Послѣдній видъ солнечной энергіи наиболѣе изслѣдованъ, благодаря работамъ Соре, Дезена, Віолля, Крова, Лангле, Фрелиха, Ангстрема и Хвольсона.

Сущность всякаго метода измѣренія тепловой энергіи солнца состоитъ въ томъ, что лучи заставляютъ падать на поверхность тѣла, покрытаго сажею. При этомъ воспринимаемая поглощающею поверхностью теплота можетъ вызвать въ тѣлѣ слѣдующія калорическія дѣйствія:

1. Измѣненіе его температуры, опредѣляемое ртутнымъ термометромъ или же термоэлементомъ. Въ первомъ случаѣ солнечные лучи или непосредственно падаютъ на вычерненный шарикъ термометра, или же воспринимаются сперва какимъ-либо постороннимъ калориметрическимъ тѣломъ.

2. Измѣненіе состоянія тѣла, при чемъ количество вещества, перешедшаго въ единицу времени въ жидкое или въ газообразное состояніе, служитъ мѣрою поглощенной теплоты.

3. Измѣненіе разности потенціаловъ въ спаѣ двухъ металловъ, покрытомъ сажею.

4. Измѣненіе электропроводности тонкой вычерненной пропроволоки.

Сообразно съ этими четырьмя калорическими дѣйствіями, всѣ извѣстные термоактинометры можно отнести къ четыремъ типамъ.

Къ первому типу относятся такіе приборы, какъ Пулье, Віолля, Крова, Ангстрема.

Ко второму—ледяной калориметръ Рентгена и Экснера, а также приборъ Гирна, въ которомъ напряженіе лучей опредѣляется количествомъ испарившагося сѣроуглерода.

Къ третьему типу относятся термоэлектрическіе актинометры Дезена, Крова, Фрелиха.

Къ четвертому—болометръ Лангле.

Актинометрическія измѣренія могутъ быть абсолютныя или относительныя.

Посредствомъ приборовъ, служащихъ для абсолютныхъ измѣреній, опредѣляется число малыхъ калорій, получаемыхъ въ одну минуту квадратнымъ сантиметромъ поверхности, перпендикулярной къ падающимъ лучамъ.

Въ этомъ измѣреніи состоитъ основная задача актинометріи. Теплоемкость предназначенныхъ для этой цѣли приборовъ должна быть точно опредѣлена.

Относительные актинометры не даютъ непосредственно тепловую энергію лучей въ абсолютныхъ единицахъ, а только при сравненіи съ показаніями абсолютныхъ актинометровъ. Таковы всѣ термоэлектрическіе приборы, переносный актинометръ Крова, болометръ Лангле, приборъ Араго-Дэви, шары Віолля и пр.

При абсолютныхъ измѣреніяхъ обыкновенно примѣняется динамическій методъ наблюденій, который состоитъ въ томъ, что опредѣляется скорость нагрѣванія калориметрическаго тѣла.

Относительныя измѣренія большею частью ведутся по методу статическому, т. е. наблюдается стаціонарное тепловое состояніе прибора.

Рѣшеніе основной задачи актинометріи весьма затруднительно, такъ какъ всякое нагрѣвающееся тѣло въ тоже время подвержено непрерывной потерѣ тепла, вслѣдствіе лучеиспусканія его поверхности, а также черезъ окружающій его воздухъ. Помощью наблюденія мы можемъ только опредѣлить избытокъ прихода теплоты надъ ея потерею.

Такимъ образомъ рѣшеніе основной задачи актинометріи находится въ тѣсной связи съ вопросомъ о законахъ охлажденія, къ которому мы и обращаемся.

§ 14. *Формула Ньютона.* Пусть тѣло, котораго всѣ точки имѣютъ одну и туже температуру, находится въ срединѣ, на t^0 низшей температуры. Если этотъ избытокъ температуры t достаточно малъ, то можно допустить, что количество теплоты, лучеиспускаемой въ единицу времени единицею поверхности тѣла, пропорціонально этому избытку, такъ что во время dx вся потеря тепла $dQ = EStdx$, гдѣ S поверхность тѣла, E—коэффиціентъ, зависящій отъ природы охлаждающагося тѣла. Если при этомъ температура тѣла понизилась на $-dt$, то $dQ = -PCdt$, гдѣ P—вѣсъ, C—удѣльная теплота тѣла. Тогда $\frac{dt}{dx} = -\frac{ES}{PC}t$, т. е. скорость охлажденія тѣла $\frac{dt}{dx}$ пропорціональна избытку температуры. Въ этомъ и состоитъ *законъ Ньютона.* Интегрируя послѣднее уравненіе и принимая $x = o$ для избытка $t = t_0$, получимъ $t = t_0 e^{-\frac{ES}{PC}x}$.

Такимъ образомъ, согласно закону Ньютона, если измѣрять температуры охлаждающагося тѣла, то избытки должны послѣдовательно убывать въ геометрической прогрессіи, когда время растетъ въ ариѳметической. Но уже опыты

Деларопа *) показали, что законъ Ньютона не примѣнимъ для избытковъ температуры выше 80°. Согласно же новѣйшимъ изслѣдованіямъ, законъ Ньютона можно считать справедливымъ лишь для избытковъ, непревышающихъ 5°С.

§ 12. *Изслѣдованія Дюлонга и Пти.* Болѣе точное опредѣленіе закона охлажденія тѣлъ было сдѣлано Дюлонгомъ и Пти **), которые наблюдали охлажденіе термометра, предварительно нагрѣваемаго до 100°, 200° и 300°, въ большомъ мѣдномъ баллонѣ, внутри покрытомъ слоемъ сажи. Этотъ баллонъ сообщался съ воздушнымъ насосомъ, посредствомъ котораго можно было быстро удалять воздухъ и впускать различные газы.

Наблюденія состояли въ томъ, что сперва въ баллонѣ по возможности разрѣжали воздухъ до 2—3 мм., затѣмъ опредѣляли пониженіе температуры вставленнаго термометра съ минуты на минуту.

Дюлонгъ и Пти, на основаніи своихъ многочисленныхъ опытовъ, пришли къ слѣдующимъ заключеніямъ:

1. Скорость охлажденія, т. е. пониженіе температуры въ теченіе одной минуты, возрастаетъ гораздо быстрѣе, чѣмъ разность температуръ. Такъ, напримѣръ, при избыткѣ температуры въ 80° и температурѣ оболочки 0°, наблюдаемо было охлажденіе 1,74°С, а при избыткѣ въ 240° и при той же температурѣ оболочки, скорость охлажденія была равна 10°,69С.

2. Скорость охлажденія зависитъ также отъ температуры оболочки. Въ опытахъ Дюлонга и Пти баллонъ погружался въ большой резервуаръ съ водою, температура которой θ оставалась въ продолженіе цѣлаго ряда опытовъ послѣдовательно равною 0°, 20°, 40° и 60°.

Сравнивая скорости охлажденія термометра, соотвѣтствующія одинаковымъ избыткамъ t надъ температурою θ оболочки,

*) Delaroche. «Sur la calorique rayonnant». Journal de Physique de Delamétherie. t. LXXV, p. 201.

**) Annales de Chimie et de Physique, 2 s., t. VII, p. 225 et 337. 1818.

Дюлонгъ и Пти нашли, что скорость охлажденія v растетъ въ геометрической прогрессіи, когда температура оболочки θ увеличивается въ ариѳметической прогрессіи. Такимъ образомъ, при одномъ и томъ-же избыткѣ температуры t и измѣняющихся температурахъ оболочки θ, скорость охлажденія можетъ быть выражена посредствомъ $\varkappa\mu^{\theta}$, гдѣ $\varkappa$ и μ—постоянныя, но $\varkappa=\varphi(t)$ зависитъ отъ величины избытка t, такъ что $v=\varphi(t)\mu^{\theta}$. Изъ наблюденій найдено было, что отношеніе скоростей охлажденія v_{n+1} и v_n, соотвѣтствующихъ, при одномъ и томъ же избыткѣ t, температурамъ оболочки θ^0 и $\theta+20^0$, равно 1.16, такъ что $\frac{v}{v'} = 1,16 = \frac{\varphi(t)\mu^{\theta+20}}{\varphi(t)\mu^{\theta}} = \mu^{20}$; откуда $\mu = \sqrt[20]{1,16} = 1.0077$; почему $v=\varphi(t).\ 1.0077^{\theta}$.

Для опредѣленія вида функціи $\varphi(t)$, Дюлонгъ и Пти сдѣлали допущеніе, что охлажденіе тѣла обусловливается потерею имъ теплоты въ видѣ лучей и пріобрѣтеніемъ теплоты, испускаемой стѣнками. Выражая лучеиспусканія тѣла и оболочки одною и тою же функціею F ихъ температуръ $t+\theta$ и θ, они пришли къ выраженію: $v=F(t+\theta)-F(\theta)=\varphi(t)\mu^{\theta}$, которое для $\theta=o$ обращается въ $\varphi(t)=F(t)-F(o)$.

Вычитая одно изъ другого, получимъ:

$\varphi(t)(\mu^{\theta}-1)=F(t+\theta)-F(\theta)-F(t)+F(o)$. Наконецъ, переставляя t и θ, получимъ: $\varphi(\theta)(\mu^{t}-1)=F(t+\theta)-F(t)-F(\theta)+F(o)$; или $\varphi(t)(\mu^{\theta}-1)=\varphi(\theta)(\mu^{t}-1)$; $\frac{\varphi(t)}{\mu^{t}-1}=\frac{\varphi(\theta)}{\mu^{\theta}-1}=$ постоянному m. Отсюда можно уже опредѣлить функцію $\varphi(t)=m(\mu^{t}-1)$; почему $v=m(\mu^{t}-1)\mu^{\theta}$. . . . . (1).

Опыты показали, что коэффиціентъ m имѣетъ для каждой охлаждающейся поверхности особое, но постоянное значеніе.

Въ оболочкѣ, содержащей воздухъ или какой либо газъ, теплота, теряемая термометромъ, обусловливается: съ одной стороны, лучеиспусканіемъ шарика, съ другой—присутствіемъ въ оболочкѣ газа.

Чтобы опредѣлить вліяніе послѣдняго, Дюлонгъ и Пти произвели цѣлый рядъ опытовъ, наблюдая охлажденіе термометра въ баллонѣ, содержащемъ воздухъ при давленіяхъ въ 720, 360, 180 и 90 мм. Оказалось, что эта часть скорости охлажденія увеличивается съ увеличеніемъ упругости воздуха.

Если давленія заключеннаго въ оболочкѣ газа p и p^1, то обусловленныя имъ скорости охлажденія v_1 и $v_1{}^1$ находятся въ отношеніи: $\frac{v_1}{p^c}=\frac{v_1{}^1}{p^{1c}}=n$, гдѣ c имѣетъ особое значеніе для каждаго газа, а именно: для воздуха.... $c=0,45$
» углекислоты. $c=0,517$
» водорода. . . $c=0,38$.

Наблюдая же охлажденія при равныхъ давленіяхъ, но при различныхъ избыткахъ t, Дюлонгъ и Пти нашли, что n для всѣхъ газовъ измѣняется одинаково съ измѣненіемъ t, а именно: $n=kt^{1,233}$. Такимъ образомъ $v_1=np^c=kp^c t^{1.233}$, а вся скорость охлажденія въ воздухѣ $V=v+v_1=m(\mu^t-1)\mu^\theta+kp^c t^{1.233}$.

Количество теплоты Q, теряемой поверхностью тѣла S въ единицу времени, можно выразить посредствомъ $Q_1S=PCV$, гдѣ P вѣсъ тѣла, C—удѣльная его теплота, V—скорость охлажденія. Тогда $V=\frac{S}{PC}Q_1$. Такъ какъ послѣднее отношеніе должно имѣть мѣсто при всѣхъ значеніяхъ t и θ, то, очевидно, коэффиціенты m и k также пропорціональны $\frac{S}{PC}$, т. е. $m=H\frac{S}{PC}$, $k=L\frac{S}{PC}$.

$$\text{Тогда } V=\frac{S}{PC}\left[H\mu^\theta(\mu^t-1)+Lp^c t^{1.233}\right] \quad \ldots\ldots\ldots (2)$$

$$Q_1=\left[H\mu^\theta(\mu^t-1)+Lp^c t^{1.233}\right] \quad \ldots\ldots\ldots (3)$$

$$Q=S\left[H\mu^\theta(\mu^t-1)+Lp^c t^{1.233}\right] \quad \ldots\ldots\ldots (4)$$

Коэффиціентъ L не зависитъ отъ природы поверхности, но измѣняется съ окружающимъ газомъ. Дюлонгъ и Пти назвали его коэффиціентомъ охлажденія газа. Что же касается H, то оно измѣняется съ природою охлаждающейся поверхности, а также зависитъ отъ стѣнокъ оболочки.

Такимъ образомъ скорость охлажденія термометра, имѣющаго температуру T и помѣщеннаго въ пустой сферической оболочкѣ, удерживающей постоянную температуру T_0, по формулѣ (1) Дюлонга и Пти: $V = m\,(\mu^T - \mu^{T_0})$.

Дюлонгъ и Пти полагали $m = 2.037$.

Впослѣдствіи Пулье*) выразилъ количество теплоты, теряемой лучеиспусканіемъ въ одну минуту единицею поверхности тѣла, формулою: $Bf\,(\mu^T - \mu^{T_0})$, гдѣ $B = 1.146$; f—испускательная способность поверхности; для сажи $f = 1$, а для стекла Пулье полагаетъ $f = 0{,}8$.

В. Феррель**), основываясь на наблюденіяхъ Николя***), даетъ для B меньшее число, а именно 0.01808, соотвѣтственно одной секундѣ, или 1.0848—для одной минуты.

§ 16. *Опыты Провосте и Дезена* ****). Выводы Дюлонга и Пти не вполнѣ подтвердились произведенными въ 1845 г. изслѣдованіями Провосте и Дезена, которые нашли:

1. Коэффиціентъ m остается почти постояннымъ, когда наблюдается термометръ съ чистымъ шарикомъ; но если поверхность шарика покрыта серебромъ, то m увеличивается съ уменьшеніемъ температуры.

2. Коэффиціентъ k больше для металлической поверхности, нежели для стекляной.

---

*) Pouilet: C. R. T. VII. 1838, p. 39.

**) W. Ferrel. Bull. philosoph. Soc. of Washington. Vol. V. 1883, p. 83.

***) J P. Nichol. Proc. Royal. Soc. Edinb. 1869—70, p. 207.

****) De la Provostaye et Desains. Annales de Chimie et de Physique. 3 série, t. XVI, p. 337, 1845.

3. Наконецъ охлажденіе, обусловленное присутствіемъ газа, перестаетъ быть пропорціональнымъ p^c при очень малыхъ давленіяхъ; сперва эта часть скорости убываетъ съ уменьшеніемъ p, но затѣмъ становится постоянною и не мѣняетъ своей величины при измѣненіи давленія въ нѣкоторыхъ предѣлахъ. Для воздуха предѣлы эти для p заключаются между 4^{mm} и $2.^{mm}8$, когда охлажденіе происходитъ въ шарѣ 24 см. въ діаметрѣ. Это показываетъ, что, при нѣкоторой степени разрѣженія, конвекціонныя теченія не могутъ уже развиваться въ газѣ, и тогда охлаждающее дѣйствіе послѣдняго обусловливается одною лишь его теплопроводностью, которая отъ упругости газа не зависитъ.

Позднѣе Эриксонъ *) произвелъ многочисленные опыты, для опредѣленія потери лучистой теплоты при высокихъ температурахъ. Эриксонъ устанавливалъ калориметръ, снабженный короткою подставкою, на раскаленномъ до-бѣла кружкѣ и нашелъ, что количество теплоты, получаемой калориметромъ при разности температуръ обоихъ тѣлъ въ 1600°, въ 80 разъ болѣе, чѣмъ при разности въ 100°. Между тѣмъ, если допустить, въ этомъ случаѣ, справедливость закона Дюлонга и Пти, то второе количество тепла должно быть меньше перваго въ 177000 разъ.

§ 17. *Законъ Стефана.* Болѣе важныя возраженія противъ формулы Дюлонга и Пти сдѣланы были Стефаномъ **). Опыты Дюлонга и Пти показали, что съ уменьшеніемъ плотности воздуха скорость охлажденія термометра уменьшается. Отсюда было сдѣлано ими предположеніе, что скорость охлажденія термометра въ воздухѣ, имѣющемъ упругость въ 2 мм., весьма мало отличается отъ скорости охлажденія въ пустотѣ. На основаніи этого предположенія, скорость въ воздухѣ при упругости въ 2 мм. была принята, какъ скорость, зависящая только отъ лучеиспусканія

---

*) J. Ericson. Contributions to the centen. exhibition. New-Iork. 1876, Chap. II, p. 25, 33.

**) J. Stefan. «Über die Beziehung zwischen der Wärmestrahlung und der Temperatur». 1879. Stzber. d. Wien Acad. Vol. 79, II. 1879, p. 391.

охлаждающагося тѣла; вычитая же эту послѣднюю скорость изъ скоростей охлажденія при бóльшихъ плотностяхъ воздуха, Дюлонгъ и Пти опредѣлили такимъ образомъ охлаждающее вліяніе воздуха при различной плотности. Но дѣйствіе, оказываемое воздухомъ на охлаждающееся тѣло, двоякое. Одно состоитъ въ томъ, что воздухъ, окружающій болѣе теплое тѣло, принимаетъ его температуру, расширяется и уступаетъ свое мѣсто болѣе холодному. Происходящія такимъ образомъ воздушныя теченія уносятъ съ собою теплоту отъ нагрѣтаго тѣла и передаютъ ее болѣе холоднымъ сосѣднимъ тѣламъ.

Другой родъ дѣйствія состоитъ въ томъ, что воздухъ, подобно твердымъ тѣламъ, передаетъ теплоту, вслѣдствіе своей теплопроводности, и въ то время, какъ передача тепла образующимися теченіями зависитъ отъ плотности воздуха, передача, обусловленная теплопроводностью, въ самыхъ широкихъ предѣлахъ, не зависитъ отъ плотности воздуха. Это свойство воздуха, вытекающее изъ динамической теоріи газовъ, было обнаружено впервые изслѣдованіями Кундта и Варбурга, а также Винкельмана. Стефанъ, съ своей стороны, произвелъ многочисленные опыты надъ теплопроводностью воздуха, измѣняя упругость его отъ 4 мм. до 2 атмосферъ, и въ цѣломъ рядѣ этихъ опытовъ теплопроводность оставалась постоянною.

Для этихъ изслѣдованій необходимо было приборъ устроить такимъ образомъ, чтобы разстояніе между поверхностью термометра и внѣшнею оболочкою было весьма мало, такъ какъ при такомъ устройствѣ прибора затрудняется возникновеніе воздушныхъ теченій. Въ тѣхъ же приборахъ, въ которыхъ свободно происходятъ воздушныя теченія, съ разрѣженіемъ воздуха скорость охлажденія убываетъ, но только до извѣстнаго предѣла, далѣе котораго она уже не измѣняется. Отсюда ясно, что скорости охлажденія, вычисленныя Дюлонгомъ и Пти, не могутъ служить мѣрою лучеиспусканія термометровъ; онѣ выражаютъ

скорости охлажденія, обусловленныя лучеиспусканіемъ термометра и проводимостью воздуха.

Поэтому Стефанъ приводитъ къ наблюденіямъ Дюлонга и Пти поправки, зависящія отъ теплопроводности разрѣженнаго газа.

Избытки т.	Скорости охлажденія.	Поправки.
240° C	10,69	0,95
220° »	8,81	0,86
200° »	7,40	0,76
180° »	6,10	0,67
160° »	4,89	0,58
140° »	3,88	0,50
120° »	3,02	0,42
100° »	2,30	0,34
80° »	1,74	0,26

Изъ приведенной таблицы видно, что вслѣдствіе пренебреженія теплопроводностью газа, ошибка при наблюденіи скорости охлажденія стеклянаго шарика термометра доходитъ, при высокихъ температурахъ, до 10%, а при болѣе низкихъ—до 15%. Если же шарикъ покрыть серебромъ, то ошибка можетъ возрасти до 50% и болѣе!

Стефанъ, разсмотрѣвъ подробно опыты Дюлонга и Пти, Провосте и Дезена, а также Эриксона и Дрепера *), пришелъ къ заключенію, что количество теплоты, испускаемой тѣломъ, пропорціонально четвертой степени его абсолютной температуры, т. е. $E=\sigma(273+T)^4$.

Законъ Стефана былъ впервые провѣренъ Грецомъ **), который нашелъ, что онъ, между температурами 0° и 250°, болѣе согласуется съ наблюденіями, нежели законъ Дюлонга и Пти.

Л. Больцманъ ***) показалъ, что законъ Стефана теоретически можетъ быть выведенъ изъ электромагнитной теоріи свѣта и второго положенія механической теоріи теплоты.

---

*) J. Draper, Phil. mag. 30, p. 345, 1847.
**) L. Graetz. Wied. Ann. 11, p. 923.
***) L. Boltzmann. Wied. Ann. 22, p. 292.

Но съ другой стороны А. Шлейермахеръ *), а также И. Боттомлей **) и В. Феррель ***) находятъ, что законъ Стефана не подтверждается опытами.

В. Феррель пытался замѣнить формулу Стефана болѣе общею $E=\sigma(273+T)^n$, гдѣ n по его опытамъ колеблется между 3,6 и 3,83.

Въ заключеніе замѣтимъ, что Розетти ****), а также Веберъ *****) предложили еще болѣе сложныя формулы. Изъ нихъ послѣдній даетъ формулу, выражающую зависимость лучеиспускательной способности отъ температуры и длины волнъ лучей. Но изъ опытовъ Греца ******) видно, что послѣдняя формула совершенно не согласуется съ наблюденіями.

Такимъ образомъ мы имѣемъ три основныхъ закона, выражающихъ количество теплоты, теряемой въ пустотѣ, вслѣдствіе лучеиспусканія, единицею поверхности въ единицу времени:

Законъ Ньютона...... $W=h\ (t-t_0)$

» Дюлонга и Пти $W=m\ (\mu^{t}-\mu^{t_0})$

» Стефана...... $W=A\,[(273+t)^4-(273+t_0)^4]$.

Изъ формулы Дюлонга и Пти, при разложеніи $m\mu^{t_0}\ (\mu^{t-t_0}-1)$ въ рядъ, получаемъ: $W=m\mu^{t_0}\ (t-t_0)\ \log\mu+\ldots$

Отсюда мы видимъ, что законъ Ньютона для малыхъ избытковъ есть только первое приближеніе болѣе общаго закона Дюлонга и Пти.

Далѣе, полагая $t-t_0=1$, можемъ представить послѣднія двѣ формулы въ слѣдующемъ видѣ:

$$W=m\mu^{t}\left(1-\frac{1}{\mu}\right)=0{,}007641\ m(1{,}0077)^{t}$$

$$W=8{,}094.10^{7}A\left(1+0{,}011t+4{,}05.10^{-5}t^{2}+4{,}94.10^{-8}t^{3}\right).$$

*) A. Schleiermacher, Wied. Ann. 26, p. 303.
**) I. Bottomley. Transact. royal. Soc. 1887. Vol. 178 p. 429
***) W. Ferrel. Amer. J. of Sc. 38 1889.
****) F. Rosetti. Atti delle R. Ac. dei Lincei (3) Vol. II. 1878, p. 174,
*****) H. F. Weber. Stzber d. Berl. Acad. 1888 (2), p. 933.
******) L. Graetz. Wied. Ann. 36. 1889. p. 857.

Такимъ образомъ по формулѣ Ньютона количество теряемой лучеиспусканіемъ теплоты зависитъ только отъ разности температуръ тѣла и окружающей средины; согласно же болѣе точнымъ формуламъ, лучеиспусканіе растетъ, при неизмѣнной разности, съ увеличеніемъ температуры охлаждающагося тѣла.

§ 18. *Опредѣленіе лучеиспусканія въ абсолютныхъ единицахъ.* Мы не можемъ опредѣлить опытнымъ путемъ абсолютное количество лучеиспускаемой тѣломъ теплоты, а только разность между лучеиспускаемой тѣломъ теплотою и приходомъ тепла, вслѣдствіе лучеиспусканія окружающей оболочки, т. е. мы можемъ только найти теплоту, на самомъ дѣлѣ теряемую тѣломъ. Но теоретическимъ путемъ, при помощи формулъ, дающихъ аналитическую зависимость между температурою и лучеиспусканіемъ, можетъ быть найдена въ абсолютныхъ единицахъ вся лучеиспускаемая тѣломъ теплота.

Пусть единица поверхности термометрическаго шарика, при температурѣ u_1, въ одну минуту лучеиспускаетъ количество теплоты H_1; если она въ то-же время получаетъ отъ оболочки, имѣющей температуру u_2, количество тепла H_2, то теряемая тѣломъ въ одну минуту теплота $vpc=4\pi r^2(H_1-H_2)$, гдѣ c удѣльная теплота, p—вѣсъ термометрическаго шарика.

Но $p=\frac{4}{3}\pi r^3 s$, гдѣ s удѣльный вѣсъ ртути. Тогда скорость охлажденія $v=\frac{3}{c.r.s}(H_1-H_2)$.

По наблюденіямъ Дюлонга и Пти, скорость охлажденія термометра при 100° въ оболочкѣ, имѣющей температуру 0°, равна 2,30. Поправка, данная Стефаномъ, относительно теплопроводности воздуха, 0.34; тогда $v=1.96$. Полагая $r=3$, $c.s=0.45$, получимъ $H_{100}-H_0=0.882$, т. е. каждый квадратный сантиметръ стекла въ одну минуту лучеиспускаетъ, при температурѣ 100°, на 0.882 калоріи больше, нежели въ такое-же время получаетъ отъ оболочки, имѣющей температуру 0°.

Изъ наблюденій Провосте и Дезена извѣстно, что, если принять лучеиспускательную способность сажи за единицу, то лучеиспускательная способность стекла равна 0,88. Поэтому, для поверхности, покрытой сажею, $H_{100}-H_0=1,002$.

Ленебахъ *) опредѣлялъ количество тепла, получаемое стеклянымъ шаромъ, наполненнымъ льдомъ, отъ концентрической оболочки, нагрѣтой до 100°. Онъ нашелъ, что каждый квадратный сантиметръ стекляннаго шара въ одну минуту получаетъ 0,917 калоріи, что довольно близко къ 0,882.

Абсолютное количество лучеиспускаемой теплоты можно опредѣлить изъ соотношенія лучеиспускательной способности серебра и стекла, какъ это сдѣлано Стефаномъ **).

Пусть $w=\frac{3}{r.c.s}(H_1-H_2)$ — скорость лучеиспусканія въ пустотѣ блестящаго термометрическаго шарика; $w_1=\frac{3}{r.c.s}(H_1{}^1-H^1{}_2)$ — скорость лучеиспусканія термометрическаго шарика, покрытаго серебромъ.

Тогда $w-w_1=\frac{3}{r.c.s}[H_1-H_2)-(H_1{}^1-H_2{}^1)]$.

Такъ какъ по закону Дюлонга и Пти $H_1-H_2=m(\mu^{u_1}-\mu^{u_2})$ и $H_1{}^1-H_2{}^1=m_1(\mu^{u_1}-\mu^{u_2})$, гдѣ m и m_1 зависятъ отъ природы охлаждающихся поверхностей, то $w-w_1=\frac{3}{r.c.s}(m-m_1)(\mu^{u_1}-\mu^{u_2})$;

или, если $u_1-u_2=\delta$, то $\frac{w-w_1}{\mu^\delta-1}=\frac{3\mu^{u_2}}{r.c.s}(m-m_1)$.

Стефанъ принимаетъ для частнаго $\frac{w-w_1}{\mu^\delta-1}$ среднее значеніе, найденное имъ изъ опытовъ Дюлонга и Пти, при $\delta=20^0$, а именно 1,95. Полагая $r=3$, $c.s=0,45$ и $\mu^{u_1}=1,165$, онъ находитъ: $m-m_1=0,753$. Если принять, что m на 3% выше послѣдняго числа, тогда $m=0,7756$.

*) A. Lehnebach. Pogg. Ann. 151, p. 96.
**) Stzber. d. Wien Acad. Vol. 79, II, p. 391.

Такимъ образомъ каждый квадратный сантиметръ стекла, при температурѣ тающаго льда, въ единицу времени лучеиспускаетъ 0,7756 калоріи. Количество же тепла, лучеиспускаемаго тою же поверхностью при 100^0, равно $m\mu^{100} = 0,7756 . 1,0077^{100} = 1,6697$. Тогда $H_{100} - H_0 = 0,894$ даетъ количество теплоты, теряемой въ одну минуту единицею поверхности стеклянаго шарика, имѣющаго температуру 100^0 и помѣщеннаго въ оболочкѣ 0^0.

Если же примѣнить къ предыдущимъ вычисленіямъ формулу Стефана, то $H_1 = AT_1^4$, $H_2 = AT_2^4$, гдѣ A опредѣляется свойствами охлаждающейся поверхности и T_1, T_2—абсолютныя температуры.

Тогда скорость охлажденія чистаго термометра $w = \frac{3A}{r.c.s}(T_1^4 - T_2^4)$.

» » » термом., покрыт. серебр. $w_1 = \frac{3A_1}{r.c.s}(T_1^4 - T_2^4)$.

Отсюда Стефанъ находитъ $A - A_1 = 6075.10^{-14}$. При умноженіи на $T_0^4 = 273^4$, получимъ: $(A - A_1)\ T_0^4 = 0,3374$. Предполагая по прежнему, что для полученія AT_0^4 нужно увеличить послѣднее число на 3%, Стефанъ получилъ окончательно: $AT_0^4 = 0,3475$.

Чтобы найти количество теплоты, лучеиспускаемой квадратнымъ сантиметромъ стекляной поверхности при 100^0, нужно умножить предыдущее выраженіе на $\left(\frac{373}{273}\right)^4 = (1,366)^4$. Тогда получимъ $AT_{100}^4 = 1,2110$ и $A(T_{100}^4 - T_0^4) = 0,8635$, число, нѣсколько меньшее, нежели найденное по формулѣ Дюлонга и Пти. Относя же лучеиспусканіе къ вычерненной поверхности, черезъ дѣленіе на 0,88, получимъ:

По формулѣ Дюлонга и Пти $H_{100} - H_0 = 1,016$

» » Стефана $H_{100} - H_0 = 0,981$.

Посредствомъ такого же пріема Стефанъ, изъ наблюденій Провосте и Дезена, въ случаѣ сферическаго термометра, находитъ, что $H_{100} - H_0 = 1,0367$.

На основаніи такихъ изслѣдованій, Стефанъ приходитъ къ заключенію, что каждый квадратный сантиметръ вычерненной поверхности, въ одну минуту, при температурѣ 100°, на одну калорію болѣе теряетъ теплоты, нежели при температурѣ 0°.

Вообще для разности $H_{100}-H_0$ получается приблизительно одно и тоже число, какъ изъ формулы Дюлонга и Пти, такъ и изъ формулы Стефана, и даже въ томъ случаѣ, когда наблюденія не соотвѣтствуютъ непосредственно температурамъ 100° и 0°; но отдѣльныя значенія H_{100} и H_0, вычисленныя по обѣимъ формуламъ, оказываются совершенно различными. Такъ, если принять, что $H_{100}-H_0=1$, то изъ закона Дюлонга и Пти слѣдуетъ, что $H_0=m=0{,}867$, а изъ закона Стефана $H_0=$ $=AT_0^4=0{,}403$, откуда $A=\frac{0{,}403}{273^4}=7{,}26.\ 10^{-11}$.

Но числа эти конечно имѣютъ только гипотетичное значеніе и не могутъ быть провѣрены путемъ опыта, такъ какъ мы лишены возможности наблюдать охлажденіе термометра въ оболочкѣ, имѣющей температуру абсолютнаго нуля.

§ 19. *Аналитическое выраженіе тепловою состоянія тѣла.*

Пусть на тѣло, обладающее наибольшею внутреннею теплопроводностью, падаетъ пучекъ лучей, площадь поперечнаго сѣченія котораго равна s

Если вся поверхность тѣла равна S, его теплоемкость c, а поглощательная способность встрѣченной лучами поверхности равна единицѣ, тогда, принимая во вниманіе законъ охлажденія Ньютона, перемѣнное тепловое состояніе тѣла мы можемъ выразить дифференціальнымъ уравненіемъ:

$$cdT=qsdt-hS(T-T_0)dt \qquad (1),$$

гдѣ T температура тѣла въ данный моментъ t, T_0—температура окружающаго пространства, h—коэф. пропорц. въ формулѣ Ньютона (коэф. внѣшней теплопроводности); что же касается q, то оно означаетъ выраженное въ малыхъ калоріяхъ (искомое въ актинометріи) количество теплоты, доставляемой нормально падающими лучами единицѣ поверхности тѣла въ одну минуту.

Интегрируя ур. (1) и полагая при этомъ, что въ начальный моментъ $t=o$ температура тѣла равна температурѣ окружающаго пространства T_0, получимъ: $\mathrm{Log.}\,[qs-hS(T-T_0)]-$

$-\mathrm{Log.}\,qs=-\frac{hS}{c}t$, откуда $\frac{qs-hS(T-T_0)}{qs}=e^{-\frac{hS}{c}t}$,

$qs-hS(T-T_0)=qse^{-\frac{hS}{c}t}$, или

$$T-T_0=\frac{qs}{hS}(1-e^{-\frac{hS}{c}t}). \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Полагая въ (2)

$$\frac{hS}{c}=m, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

получимъ: $T-T_0=\frac{qs}{hS}(1-e^{-mt})$ .... (4)

При непрерывномъ продолжительномъ дѣйствіи тепловыхъ лучей, наступаетъ стаціонарное состояніе, для котораго $dT=o$ и $T=T_1$.

Тогда изъ (1) получаемъ $qs=hS(T_1-T_0)$,

$$T_1-T_0=\frac{qs}{hS}. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4')$$

Внося значеніе $\frac{qs}{hS}$ въ (4), получимъ:

$T-T_0=(T_1-T_0)(1-e^{-mt})$; или $T=T_1-(T_1-T_0)e^{-mt}$.

Такимъ образомъ, если тѣло, принявшее температуру окружающаго пространства T_0, подвергнемъ дѣйствію солнечныхъ лучей, то, спустя время t отъ начала нагрѣванія, его температура будетъ:

$$T_e=T_1-(T_1-T_0)e^{-mt} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5).$$

Скорость нагрѣванія тѣла въ тотъ же моментъ

$$\frac{dTe}{dt}=m(T_1-T_0)e^{-mt}=m(T_1-T_e).$$

Если стаціонарное тепловое состояніе достигнуто, и тѣло, поставленное въ тѣнь, начнетъ охлаждаться, то въ этомъ случаѣ, чтобы примѣнить форм. (1), необходимо положить q рав-

нымъ нулю, и при интегрированіи для $t=o$ начальная температура T должна быть равна T_1.

Тогда получимъ $cdT=-hS(T-T_0)dt$; $\frac{dT}{T-T_0}=-\frac{hS}{c}dt$;

$T-T_0=(T_1-T_0)e^{-mt}$; $T=T_0+(T_1-T_0)e^{-mt}$.

Отсюда приходимъ къ заключенію, что если тѣло, достигнувшее стаціонарной температуры, поставлено въ тѣнь, то, спустя t минутъ отъ начала охлажденія, его температура будетъ:

$$T_a=T_0+(T_1-T_0)e^{-mt} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6).$$

Скорость же охлажденія тѣла, по абсолютной своей величинѣ, въ тотъ же моментъ t выразится формулою:

$$\frac{dTa}{dt}=m(T_1-T_0)e^{-tm}=m(T_a-T_0). \quad \ldots\ldots\ldots \quad (7).$$

Тогда изъ (5) и (6) находимъ, что $T_e+T_a=T_1+T_0$, т. е. *сумма температуръ, соотвѣтствующихъ одинаково продолжительнымъ нагрѣванію и охлажденію, есть величина постоянная* *)

Относительно же скоростей приходимъ къ слѣдующему заключенію:

1. *Скорости измѣненія температуры имѣютъ одинаковыя абсолютныя значенія въ равныя времена t, считаемыя отъ начала нагрѣванія и охлажденія.*

2. Для моментовъ, когда при нагрѣваніи и охлажденіи достигнуты равныя температуры $T_a=T_e$, сумма $\frac{dTe}{dt}+\frac{dTa}{dt}=$ $=m(T_1-T_0)=\left(\frac{dTe}{dt}\right)_0=\left(\frac{dTa}{dt}\right)_0$, т. е. *сумма абсолютныхъ значеній скоростей нагрѣванія и охлажденія есть величина постоянная, равная начальнымъ значеніямъ этихъ двухъ скоростей*

§ 20. *Попытки къ опредѣленію солнечной температуры на основаніи законовъ лучеиспусканія.* Вопросъ о температурѣ

---

*) О. Хвольсонъ: «О современ. состояніи актинометріи», 1892 г., стр. 33.

солнца издавна занималъ умы естествоиспытателей. Рѣшеніемъ его занимались Ньютонъ, Соссюръ, Пулье, въ новѣйшее время Ватерстонъ, Секки, Эриксонъ, Викеръ, Віолль, Крова и многіе другіе. Выводы, къ которымъ пришли ученые относительно температуры солнца, столь разнорѣчивы, что между ними цѣлыя пропасти. Секки, на основаніи наблюденій Соре и Ватерстона, выражалъ солнечную температуру въ 10 милліонахъ градусовъ, между тѣмъ по вычисленіямъ Пулье она колеблется между 1461° и 1761°.

Эти результаты тѣмъ болѣе удивительны, что были получены на основаніи изученія одного и того же явленія, а именно тепловой энергіи солнца, при томъ методами, въ принципѣ мало одинъ отъ другого отличающимися.

Впослѣдствіи Секки, послѣ болѣе тщательнаго изслѣдованія вопроса, принялъ за низшій предѣлъ солнечной температуры 5—6 милліоновъ градусовъ, а Эриксонъ изъ своихъ наблюденій получилъ для температуры солнца болѣе 2 мил. градусовъ. Цёльнеръ былъ умѣреннѣе въ своихъ вычисленіяхъ; по его мнѣнію, внутренняя температура солнца колеблется между 68000° и 102000° *). Сплреръ принимаетъ число 27000°, а Розетти— отъ 10000° до 20000° **). Сентъ-Клеръ-Девилль, основываясь на опытахъ относительно горѣнія водорода, склоненъ думать, что температура солнечной поверхности не должна слишкомъ отличаться отъ 2500°—2800°. Викеръ, подвергая серіозной критикѣ методъ Секки, приходитъ къ числу 1398°, мало отличающемуся отъ данныхъ Пулье 1461° и 1761°.

Соре считаетъ температуру солнца значительно выше самыхъ высокихъ температуръ, достигаемыхъ сжиганіемъ извѣстныхъ намъ веществъ.

---

*) Цёльнеръ примѣнилъ особый методъ; онъ пытался опредѣлить температуру солнца по скорости, съ которою извергаются газы въ протуберансахъ.

**) Rosetti: «Sur la température du soleil, recherches experimentales». Ann. de chimie et de physique. 1879. 5 serie.

Віолль иронически замѣчаетъ: «Съ тѣхъ поръ, какъ Бутанъ *) резюмировалъ разнорѣчивыя мнѣнія физиковъ и астрономовъ относительно температуры солнца, Секки понизилъ свое число до 100000° и вскорѣ онъ, безъ сомнѣнія, еще отброситъ одинъ нуль» **).

Что же касается самого Віолля, то онъ для солнечной температуры находитъ 2500°.

Въ 1876 году Парижская Академія Наукъ объявила конкурсъ по означенному вопросу, подъ именемъ «Prix Bodin». Хотя премія была присуждена Віоллю, а работы Викера и Крова удостоились одобренія, тѣмъ не менѣе Академія Наукъ пришла къ заключенію, что изслѣдователи прибѣгали къ опасной экстраполяціи, примѣняя къ высокимъ температурамъ законъ лучеиспусканія, найденный въ предѣлахъ отъ 0° до 300°.

Вообще нужно замѣтить, что въ случаѣ примѣненія формулы Ньютона, для солнечной температуры получаются огромныя числа, а формула Дюлонга и Пти даетъ для той же температуры числа сравнительно малыя. Посмотримъ, какимъ образомъ примѣнялись эти формулы при вычисленіи солнечной температуры.

Ватерстонъ старался опредѣлить температуру солнца на основаніи слѣдующихъ соображеній. Если тѣло, заключенное въ оболочкѣ, удерживающей постоянную температуру, подвергнуть вліянію особаго источника теплоты, то дѣйствіе послѣдняго на тѣло будетъ тѣмъ меньшее, чѣмъ выше температура этой оболочки. Въ частности, дѣйствіе источника на тѣло равно нулю, если источникъ имѣетъ такую же температуру, какъ и оболочка, заключающая тѣло. Напротивъ, если источникъ теплоты имѣетъ несравненно болѣе высокую температуру, можно въ широкихъ предѣлахъ измѣнять температуру оболочки и при этомъ дѣйствіе источника на тѣло будетъ одно и тоже.

*) Boutan, Journal de Physique 1872.

**) Violle: «Memoire sur la température moyenne de la surface du soleil». Ann. de chimie et de phys. 1877.

Исходя изъ этого положенія, Ватерстонъ, будучи въ Индіи, производилъ наблюденія надъ термометромъ, шарикъ котораго находился въ центрѣ тройной оболочки.

Повышая температуру этой оболочки помощью Аргантовой лампы и пропуская въ тоже время на шарикъ термометра солнечные лучи черезъ закрытыя стеклянными пластинками отверстія, Ватерстонъ наблюдалъ одни и тѣ-же температурные избытки, хотя температура оболочки измѣнялась отъ 0° до 220° *). Отсюда Ватерстонъ вывелъ заключеніе о необычайно высокой температурѣ солнца.

Секки подтвердилъ выводы Ватерстона, полагая, что такимъ образомъ найдены абсолютные избытки температуры, обусловленные дѣйствіемъ солнечныхъ лучей, независимо отъ температуры оболочки.

Для опредѣленія солнечной температуры Секки подвергалъ дѣйствію лучей термометръ съ вычерненнымъ шарикомъ, заключеннымъ въ оболочкѣ постоянной температуры. Затѣмъ, примѣняя къ солнечному лучеиспусканію законъ Ньютона, онъ слѣдующимъ образомъ выражалъ равновѣсіе температуръ для стаціонарныхъ избытковъ**): $t-\theta=\alpha T$, откуда $T=\frac{t-\theta}{\alpha}$, гдѣ T, t, θ— температуры солнца, термометра и оболочки, α—отношеніе видимой поверхности солнца къ поверхности оболочки. По объясненію Секки, температурный избытокъ сохраняетъ одну и туже величину при измѣненіи температуры оболочки отъ 0° до 60° и даже до 220° вслѣдствіе того, что α весьма мало.

«Но это объясненіе», говоритъ Викеръ***), «мнѣ кажется недостаточнымъ, ибо при переходѣ отъ 0° къ 60° и въ особенности

*) Waterstone, Pphilosoph. Magaz. (4) t 19, p. 342 et t 23, p. 497.

**) При опредѣленіи избытка температуры термометра надъ температурою оболочки вводилась поправка относительно поглощенія солнечныхъ лучей земною атмосферою.

***) Comptes Rendus, t. 74, 1872, p. 31. Vicaire: «Sur la température de la surface solaire».

къ 220°, законъ Ньютона перестаетъ быть примѣнимымъ». Викеръ настаиваетъ на примѣненіи закона Дюлонга и Пти. Въ такомъ случаѣ для того же самаго избытка $t-\theta$ скорость охлажденія, а слѣдовательно и количество теплоты, уступаемой въ единицу времени термометромъ оболочкѣ, увеличится въ $1,0077^{60} = 1,584$ разъ, когда θ измѣняется отъ 0° до 60°, и въ $1,0077^{220} = 5,403$ разъ, съ соотвѣтственнымъ переходомъ θ къ 220°.

Если тѣмъ не менѣе, говоритъ Викеръ, тепловое равновѣсіе термометра при томъ же самомъ избыткѣ температуры не нарушается, значитъ, лучи солнца приносятъ теперь большее количество теплоты.

«Но мы пришли къ тому парадоксальному результату, что термометръ получаетъ отъ солнца тѣмъ больше теплоты, чѣмъ онъ самъ болѣе нагрѣтъ». Очевидно, продолжаетъ Викеръ, не солнечная радіація измѣняется, по мѣрѣ нагрѣванія термометра, но увеличивается поглощательная способность послѣдняго.

Примѣняя формулу Дюлонга и Пти, Викеръ слѣдующимъ образомъ выражаетъ тепловое равновѣсіе:

$$\mu^t - \mu^\theta = \alpha\mu^T, \text{ откуда } T = \frac{\log(\mu^t - \mu^\theta) + \log\frac{1}{\alpha}}{\log \mu}.$$

Полагая, какъ и Секки, $\alpha = \frac{1}{183960}$ и $t - \theta = 29,02$, далѣе $\theta = 0$, Викеръ находитъ для солнечной температуры $T = 1398°$.

Такимъ образомъ, примѣняя къ числамъ Секки законъ Дюлонга и Пти, Викеръ приходитъ почти къ такому же результату, какъ и Пулье, который также пользовался показательной функціею.

Какой же изъ двухъ методовъ вычисленія, спрашиваетъ Викеръ, представляетъ больше гарантіи? Законъ Ньютона, справедливо замѣчаетъ онъ, неточный, даже въ весьма ограни-

ченныхъ предѣлахъ; законъ же Дюлонга и Пти гарантированъ до 300°; кромѣ того Пулье говоритъ, что онъ провѣрилъ этотъ законъ до 1000°.

На основаніи этихъ соображеній Викеръ полагаетъ, что температура поверхности солнца вообще сравнима съ температурами земныхъ источниковъ теплоты: «Было бы преждевременно пытаться представить температуру солнечной поверхности точнымъ числомъ; но я полагаю, что мы не удалимся далеко отъ истины, утверждая, что она ниже 3000°».

Секки не оставилъ замѣчаній Викера безъ возраженія *). Онъ считаетъ слишкомъ страннымъ выводъ Викера, что температура солнца всего только 1398°, т. е. ниже температуры плавленія чугуна, тогда какъ мы видимъ на солнцѣ пары желѣза.

«Какой же отсюда выводъ»? спрашиваетъ Секки: «очевидно тотъ, что законъ Дюлонга и Пти не можетъ быть примѣнимъ въ данномъ случаѣ», и по слѣдующимъ соображеніямъ:

Законъ этотъ, говоритъ Секки, можетъ быть допущенъ только въ тѣхъ предѣлахъ, въ которыхъ тѣло сохраняетъ твердое или жидкое состояніе; когда же оно переходитъ въ состояніе газообразное, то въ явленіи наступаетъ разрывъ, и тогда наиболѣе вѣроятною является гипотеза Ньютона.

Но Секки подвергся нападкамъ и со стороны Эриксона **), который, какъ мы увидимъ ниже, сомнѣвался, чтобы приборъ Секки могъ давать надежные результаты. Вмѣстѣ съ тѣмъ Эриксонъ указываетъ на то, что Секки, опредѣляя поглощеніе радіаціи солнечною атмосферою, не принималъ во вниманіе новѣйшихъ изслѣдованій относительно строенія газообразной оболочки нашего свѣтила. По поводу этого Секки замѣчаетъ, что Эриксонъ, говоря о поглощеніи солнечной энергіи водородомъ хромосферы, забываетъ другой громадный источникъ поглощенія,

*) Secchi: Sur la température solaire. Comptes Rendus t. 74 p. 301. 1872.

**) Nature, vol. V, p. 48.

тотъ слой, который обусловливаетъ Фраунгоферовы линіи. Если бы солнце лишилось этой поглощающей оболочки, то радіація его увеличилась бы въ 8 разъ.

«Но я не воспользовался этимъ увеличеніемъ», говоритъ Секки, «а довольствовался только тѣмъ, что удвоилъ напряженіе, получающееся непосредственно изъ опыта, взявъ 10 милліоновъ вмѣсто $5^1/_3$, и не думаю, чтобы я преувеличивалъ».

Віолль*) опредѣляя температуру солнечной поверхности, подобно Викеру, прибѣгаетъ къ закону Дюлонга и Пти.

Пусть въ центрѣ вычерненной сферической оболочки, имѣющей постоянную температуру t, заключенъ термометрическій шарикъ неопредѣленно малыхъ размѣровъ. Если внутренняя поверхность оболочки посылаетъ шарику количество теплоты $S\alpha^t$, гдѣ $\alpha = 1,0077$, то, при тепловомъ равновѣсіи, термометръ долженъ съ своей стороны посылать въ тоже время внутренней поверхности количество теплоты $S\alpha^t$. Сдѣлаемъ въ сферической оболочкѣ круглое отверстіе ω такихъ размѣровъ, чтобы оно было видимо изъ центра оболочки подъ тѣмъ же угломъ, какъ и видимый дискъ солнца. Если теперь, подъ вліяніемъ солнечныхъ лучей, термометръ достигаетъ стаціонарной температуры θ, значитъ, теряемое имъ количество теплоты $S\alpha^\theta$ равно суммѣ количествъ, испускаемыхъ оболочкою и солнцемъ, т. е. $S\alpha^\theta = S\alpha^t + \omega\alpha^x$**), гдѣ x искомая температура солнца.

Но на самомъ дѣлѣ термометрическій шарикъ конечныхъ размѣровъ, вслѣдствіе чего отверстіе, посредствомъ котораго проникаютъ солнечные лучи, должно быть значительно шире. Пусть требуется отверстіе Ω, чтобы къ термометрическому шарику достигали лучи отъ всей поверхности солнца. Тогда вмѣсто прежняго уравненія получимъ:

*) Ann. de Chimie et de Phys. 1877. S. 5, t. X, p. 347.

**) Если мы открываемъ отверстіе, то соотвѣтственная часть оболочки удаляется, поэтому правильнѣе было бы $S\alpha^\theta = (S-\omega)\alpha^t + \omega\alpha^x$.

$S\alpha^{\theta}=S\alpha^{t}+\omega\alpha^{x}+\Omega\alpha^{y}$, гдѣ $\Omega\alpha^{y}$ выражаетъ количество теплоты, посылаемой на термометрическій шарикъ частью неба, сосѣднею съ солнцемъ, при неизвѣстной температурѣ y (слѣдовало бы тогда взять $\alpha^{y}[\Omega-\omega]$). Если пренебречь послѣднимъ членомъ, тогда получимъ: $\alpha^{\theta}-\alpha^{t}=\frac{\omega}{S}\alpha^{x}$, гдѣ $\frac{\omega}{S}=\frac{1}{183960}$.

Замѣняя α^{x} вообще функціей вида $f(x)$, получимъ: $\alpha^{\theta}-\alpha^{t}=\frac{\omega}{S}f(x)$...(1).

Полагая $\alpha=1+\beta$, гдѣ $\beta=0{,}0077$, мы можемъ, при незначительныхъ избыткахъ, принять, что $\alpha^{\theta}-\alpha^{t}=\alpha^{t}\beta(\theta-t)$, такъ какъ $\alpha^{\theta}=\alpha^{t+\theta-t}=\alpha^{t}\alpha^{\theta-t}=\alpha^{t}(1+\beta)^{\theta-t}$; или, ограничиваясь двумя членами ряда, $\alpha^{\theta}=\alpha^{t}[1+\beta(\theta-t)]$; тогда $\alpha^{\theta}-\alpha^{t}=\alpha^{t}\beta(\theta-t)$.

Поэтому уравненіе (1) принимаетъ видъ: $\alpha^{t}\beta(\theta-t)=\frac{\omega}{S}f(x)$.

Замѣняя β и $\frac{\omega}{S}$ ихъ численными значеніями, получимъ:

$$\theta-t=\frac{1}{1416}\,\frac{f(x)}{\alpha^{t}}\,\ldots\ldots\ldots\ (2).$$

На основаніи этой формулы Віолль приходитъ къ заключенію, что температурные избытки уменьшаются, по мѣрѣ возрастанія температуры оболочки t, и законъ этого уменьшенія выражаетъ формулою $\theta-t=\frac{c}{\alpha^{t}}$, гдѣ c постоянное, пропорціональное напряженію солнечной радіаціи въ моментъ наблюденія.

Но примѣнимъ ли законъ Дюлонга и Пти въ случаѣ высокихъ температуръ? Соре даетъ отрицательный отвѣтъ и на основаніи слѣдующихъ соображеній. При помощи своего актинометра Соре наблюдалъ дѣйствіе раскаленнаго диска цирконія на термометрическій шарикъ и нашелъ температурный избытокъ $\theta-t=0{,}5^{0}$.

Тогда по формулѣ $\alpha^{\theta} - \alpha^{t} = \frac{\omega}{S}\alpha^{T}$ Соре нашелъ $T=870°$, между тѣмъ температура раскаленнаго диска была, вѣроятно, выше температуры плавленія платины, т. е. около 2000°.

По поводу полученнаго Соре результата Віолль говоритъ, что въ этомъ случаѣ актинометрическое измѣреніе радіаціи не могло дать истинной температуры раскаленнаго цирконія, такъ какъ не принята была во вниманіе лучеиспускательная способность послѣдняго. Въ выводахъ Соре лучеиспускательная способность цирконія очевидно принималась равною единицѣ, почему найденная имъ температура не есть на самомъ дѣлѣ истинная, а такъ называемая дѣйствующая (température effective), соотвѣтствующая лучеиспускательной способности, равной единицѣ. Віолль въ тоже время указываетъ, какимъ образомъ, зная дѣйствующую температуру, опредѣлить истинную температуру источника.

Для своихъ изслѣдованій Віолль старался воспользоваться постояннымъ источникомъ высокой температуры. Такимъ источникомъ послужила ему расплавленная сталь, въ моментъ выхода ея изъ печи Martin—Siemens. Этотъ источникъ давалъ термометрическій избытокъ 1°,3 въ минуту, почему для дѣйствующей температуры расплавленной стали получено было 1070°. Но такъ какъ изъ опытовъ Грюнера извѣстно, что температура расплавленной стали на самомъ дѣлѣ равна 1500°, то отсюда, по формулѣ $E\alpha^{T} = \alpha^{x}$, Віолль нашелъ, что лучеиспускательная способность

$$E = \frac{\alpha^{x}}{\alpha^{T}} = \frac{\alpha^{1070}}{\alpha^{1500}} = 0{,}037 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3).$$

Тотъ же термометръ, подъ вліяніемъ солнечныхъ лучей, получалъ въ одну минуту избытокъ въ 4°,2; Отсюда Віолль нашелъ, что дѣйствующая температура солнечной поверхности не ниже 1600°.

Лучеиспускательная способность солнечной поверхности, по мнѣнію Віолля, такая же, какъ и у расплавленной стали, такъ какъ желѣзо преобладаетъ на поверхности солнца.

Принимая лучеиспускательную способность солнечной поверхности равною 0,04, по ф. (3) получимъ для истинной температуры солнечной поверхности 2000°.

Но Віолль, на основаніи своихъ изслѣдованій радіаціи раскаленныхъ до-бѣла тѣлъ съ газообразными оболочками, полагаетъ, что лучеиспускательная способность солнечной поверхности должна быть ниже 0,04, а потому для истинной средней температуры солнечной поверхности беретъ 2500°.

Таковы попытки къ опредѣленію температуры солнца. Примѣненіе въ этомъ случаѣ закона лучеиспусканія Ньютона, само собою разумѣется, невозможно; сомнительны также выводы, сдѣланные при помощи показательной формулы, которая прежде всего выражаетъ законъ лучеиспусканія въ пустомъ пространствѣ и во всякомъ случаѣ въ ограниченныхъ предѣлахъ температуры.

Такимъ образомъ вопросъ о температурѣ солнца остается совершенно открытымъ, хотя естествоиспытатели и пришли къ заключенію, что солнечная температура вообще сравнима съ температурами земныхъ источниковъ теплоты. Эта мысль, раздѣляемая въ настоящее время большинствомъ ученыхъ, вполнѣ согласуется съ результатами фотометрическихъ измѣреній Физо и Фуко, которые нашли, что солнечный свѣтъ только въ $2\frac{1}{2}$ раза превосходитъ свѣтъ Вольтовой дуги, полученной при помощи сильной гальванической баттареи*).

ГЛАВА VI.

Первыя попытки къ измѣренію солнечной радіаціи.

§ 21. Первыя попытки къ измѣренію солнечной радіаціи сдѣланы были при помощи статическаго метода. Когда термометръ, съ вычерненнымъ шарикомъ, подъ вліяніемъ солнечныхъ лучей,

*) Sur l'intensité de la lumière de la pile par Fizeau et Foucault. Comptes Rendus t. XVIII.

приходилъ въ стаціонарное состояніе, т. е. начиналъ терять отъ соприкосновенія съ воздухомъ и лучеиспусканія столько тепла, сколько онъ получалъ въ то же время отъ солнца, отмѣчали, на сколько градусовъ его показаніе выше температуры воздуха, опредѣляемой другимъ термометромъ, находящимся въ тѣни.

Подобныя наблюденія производилъ уже въ 1756 году Ламбертъ, опубликовавшій найденные имъ результаты въ своей «Фотометріи» *), а за сто лѣтъ до него Ньютонъ наблюдалъ термометръ послѣдовательно въ тѣни и на солнцѣ, въ надеждѣ опредѣлить такимъ путемъ температуру солнца **).

Позже подобныя наблюденія сдѣланы были Фложергомъ въ 1815 и 1816 гг., при помощи термометровъ, изъ которыхъ шарикъ одного былъ вычерненъ тушью. Разность обоихъ термометровъ доходила до 9°—11°C, при совершенно тихой погодѣ; но при малѣйшемъ вѣтрѣ температура термометра съ вычерненнымъ шарикомъ понижалась.

Съ 1820 по 1822 годъ Даніель произвелъ рядъ наблюденій въ окрестностяхъ Лондона. Онъ пользовался при этомъ термометромъ, шарикъ котораго покрытъ былъ черною шерстью.

Къ тому же времени опыты повторены были капитаномъ Сабиномъ, сначала въ Сіерра-Леоне, потомъ въ Багіи и Портъ-Ройялѣ, на островѣ Ямайкѣ. Наконецъ Парри произвелъ такія же наблюденія на островѣ Мельвиллѣ.

Но эти первыя попытки измѣренія солнечной энергіи не могутъ имѣть никакого научнаго интереса, и результаты наблюденій были слишкомъ разнорѣчивы.

§ 22. *Геліотермометръ Соссюра.* Желая предохранить подвергаемый дѣйствію солнечныхъ лучей термометръ отъ охлаждающаго вліянія воздуха, Соссюръ *) помѣщалъ его въ осо-

---

*) Lambert: Photometrie. 1760.

**) Schmid: Lehrbuch der Meteorologie. 1860, p. 126.

***) Saussure. Voyages dans les Alpes. Neuchatel. 1787—1796. § 932. Schmid: Lehrbuch der Meteorologie. p. 127.

бомъ деревянномъ ящикѣ, который внутри былъ выложенъ толстымъ слоемъ вычерненной пробки, а сверху закрывался тремя стеклянными пластинками, отстоящими одна отъ другой на полтора дюйма.

Устроенный такимъ образомъ геліотермометръ нагрѣвался сперва до опредѣленной температуры, потомъ оріентировался такъ, чтобы лучи падали нормально на стеклянныя пластинки. Солнечная теплота проникала въ ящикъ, заключающій въ себѣ термометръ, поглощалась черною поверхностью пробки и задерживалась стекломъ. Часъ спустя, отмѣчали показаніе термометра и сравнивали съ температурою воздуха.

Такимъ образомъ здѣсь разность показаній двухъ термометровъ служила мѣрою теплового напряженія солнечныхъ лучей. Но стеклянныя пластинки не въ одинаковой степени пропускали солнечные лучи различной преломляемости, а потому и приборъ Соссюра не давалъ точныхъ измѣреній.

Віолль*) говоритъ, что даже малѣйшее измѣненіе положенія геліотермометра Соссюра отражается на показаніяхъ этого прибора. Такъ было во время наблюденій Віолля на вершинѣ горы Мушероттъ въ сентябрѣ 1874 года. Віолль имѣлъ два такихъ ящика, устроенныхъ по возможности одинаково. Оба они 2-го сентября въ полдень показывали одну и ту-же температуру на вершинѣ горы, а именно 70° F. Температура воздуха была равна 19°, такъ что напряженіе лучей солнечныхъ опредѣлялось избыткомъ въ 51° F.

Въ тотъ-же часъ два актинометра Віолля показывали: на солнцѣ 31°.3, въ тѣни 19°.2, что давало разность 12°.1. Но 3-го сентября одинъ изъ ящиковъ, а также одинъ актинометръ

*) Violle. Memoire sur la température moyenne de la surface du Soleil. Ann. de Chimie et de Physique. 1877. Mars.

были перенесены къ подошвѣ горы, гдѣ наблюденія въ полдень показали:

	Темпер. возд.	Темпер. черн. ящика	Избытокъ
Геліотермометръ..	25°.7	80°	54°.3
	Темпер. средины	Темпер. термом.	Избытокъ
Актинометръ	17°.5	28°.6	11°.1

Въ то-же время на вершинѣ Мушероттъ было отмѣчено:

	Темп. возд.	Черн. ящика	Избытокъ
Геліотермометръ..	20°	68°.2	48°.2
	Темп. сред.	Терм.	Избытокъ
Актинометръ	21°.15	34°.15	13°.0

Пониженіе избытка на вершинѣ съ 51° на 48°.2 можно было объяснить тѣмъ обстоятельствомъ, что въ это время передъ солнцемъ проходили легкія облака.

«Но какъ тогда объяснить», говоритъ Віолль, «избытокъ въ 54.3°, который показывалъ въ тотъ-же часъ нижній ящикъ, если не тѣмъ, что термометръ его при перенесеніи съ вершины горы не занялъ точно такого-же положенія внутри ящика, какъ прежде»?

Тѣмъ не менѣе при помощи своего геліотермометра самъ Соссюръ могъ констатировать тотъ фактъ, что напряженіе солнечной радіаціи больше на высокихъ вершинахъ, нежели на равнинахъ. Такъ 16-го іюля 1774 года въ три часа пополудни Соссюръ, произведя наблюденія на вершинѣ Cramont (2735 м. надъ уровнемъ моря), замѣтилъ, что геліотермометръ, нагрѣтый сперва до 62°.5 C, показывалъ на солнцѣ 87°.5 C, а температура воздуха была 6° C. На другой день въ Courmayeur'ѣ (1495 м.) въ такое же время тотъ-же самый приборъ, нагрѣтый также до 62.5° C, показывалъ 86° C.

Спустя нѣсколько дней, Соссюръ повторилъ наблюденія на горѣ Chenalette, расположенной вблизи С.-Бернарда, и получилъ такіе же результаты.

§ 23. *Актинометръ Гершеля.* Въ 1825 году Джономъ Гершелемъ предложенъ былъ динамическій методъ опредѣленія солнечной радіаціи.

Актинометръ Гершеля *) состоялъ изъ термометра съ большимъ цилиндрическимъ резервуаромъ, наполненнымъ голубымъ растворомъ мѣднаго купороса. Расширеніе раствора опредѣлялось при помощи узкой термометрической трубки, которая, при значительныхъ размѣрахъ самого резервуара, придавала прибору большую чувствительность. Въ резервуаръ актинометра вставленъ былъ серебряный винтъ, для измѣненія вмѣстимости прибора. Передъ наблюденіемъ помощью этого винта поднималась или опускалась жидкость до тѣхъ поръ, пока конецъ столбика не былъ у начала дѣленій шкалы. Безъ такой предосторожности конецъ жидкаго столбика во время наблюденій могъ выйти изъ назначенныхъ предѣловъ; съ измѣненіемъ же объема резервуара устраняется необходимость дѣлать термометрическую шкалу слишкомъ длинною. Такъ какъ коэффиціентъ расширенія раствора не остается постояннымъ, а мѣняется съ температурою, то для опредѣленія температуры жидкости черезъ винтъ пропущенъ термометръ.

Весь приборъ помѣщался въ деревянномъ ящикѣ съ зачерненными внутренними стѣнками. Верхняя сторона ящика сдѣлана была изъ стекла и снабжена деревянною крышкою. Когда крышка открыта, солнечные лучи черезъ стекло проникали въ приборъ.

Такимъ образомъ актинометръ Гершеля по устройству своему напоминаетъ геліотермометръ Соссюра и, подобно послѣднему, подверженъ тѣмъ же самымъ ошибкамъ.

Термометрическая трубка прибора Гершеля раздѣлена была на градусы, изъ которыхъ каждый соотвѣтствовалъ 5 или 6 актинамъ.

Актина выражала такое напряженіе солнечныхъ лучей, при которомъ каждый квадратный сантиметръ перпендикулярной къ лучамъ поверхности получалъ въ одну минуту около 0.04 калоріи.

---

*) Schmid: Lehrbuch der Meteorologie, p 127.

Методъ наблюденія состоялъ въ слѣдующемъ: сначала отмѣчали ходъ термометра въ тѣни въ теченіе одной минуты, потомъ его нагрѣваніе на солнцѣ въ такое же время и наконецъ опять охлажденіе въ тѣни также въ одну минуту. Среднее ариѳметическое измѣненій жидкости до и послѣ инсоляціи въ теченіе одной минуты служило поправкою относительно нагрѣванія или охлажденія прибора въ воздухѣ. Для большей точности обыкновенно производили цѣлый рядъ наблюденій, напримѣръ въ теченіе 11 минутъ, попеременно открывая и закрывая крышку на одну минуту, потомъ брали среднее изъ всѣхъ наблюденій на солнцѣ а также отдѣльно изъ всѣхъ наблюденій въ тѣни. Алгебраическая разность этихъ двухъ среднихъ давала въ доляхъ шкалы величину расширенія жидкости въ одну минуту, подъ вліяніемъ однихъ только солнечныхъ лучей. По этимъ даннымъ опредѣлялось напряженіе солнца въ калоріяхъ. Для этого необходимо знать истинную температуру жидкости, ея коэффиціентъ расширенія, теплоемкость и наконецъ размѣры прибора.

Гершель при помощи своего прибора произвелъ цѣлый рядъ наблюденій въ Европѣ и на мысѣ Доброй Надежды.

Въ особенности много наблюденій помощью актинометра Гершеля произведено было Форбсомъ съ 1832 по 1841 годъ. Изъ нихъ наиболѣе важныя наблюденія сдѣланы были совмѣстно съ Кемцемъ въ сентябрѣ 1832 года, на вершинѣ Фаульгорнъ и въ Бріенцѣ, для опредѣленія коэффиціента теплопрозрачности воздуха. Не смотря на недостатки прибора Гершеля, слѣдуетъ замѣтить, что всѣ эти измѣренія произведены были весьма тщательно.

Кемцъ замѣтилъ, что въ актинометрѣ Гершеля расширеніе раствора во время первой минуты дѣйствія солнечныхъ лучей происходитъ неравномѣрно, а именно, сперва скорость расширенія замедляется и только по прошествіи 50 секундъ она становится почти постоянною. Явленіе это, наблюдаемое и въ обыкновенныхъ термометрахъ, объясняется тѣмъ, что при дѣй-

ствіи солнечныхъ лучей прежде подвергается нагрѣванію самъ резервуаръ актинометра и, вслѣдствіе увеличенія его емкости, замедляется видимое расширеніе раствора въ термометрической трубкѣ.

Актинометрическая жидкость въ различныхъ приборахъ имѣетъ различные коэффиціенты расширенія, а также различную теплоемкость, съ теченіемъ времени измѣняющіеся.

Если къ тому-же принять во вниманіе неодинаковую прозрачность стеклянныхъ пластинокъ, предохраняющихъ термометръ отъ движенія воздуха, то не трудно видѣть, что наблюденія помощью актинометра Гершеля вообще не точны и несравнимы между собою.

§ 24. *Дифференціальный термометръ Лесли и термоскопъ Румфорда.* Джонъ Лесли*) въ 1800 году предложилъ для измѣренія солнечной радіаціи свой дифференціальный термометръ, котораго одинъ шарикъ былъ вычерненъ, а другого вызолоченъ. Въ 1804 году Румфордъ воспользовался для той-же цѣли устроеннымъ имъ термоскопомъ.

Послѣ всего изложеннаго о законахъ охлажденія тѣлъ сама собою очевидна непригодность обоихъ приборовъ для точныхъ измѣреній. Оба они подвержены сильному вліянію воздушныхъ токовъ, такъ какъ не защищены оболочками.

Измѣряя въ Эдинбургѣ при помощи своего прибора напряженіе солнечной радіаціи въ различные часы дня, Лесли нашелъ, что при ясной погодѣ атмосферою задерживается четвертая часть лучей, падающихъ перпендикулярно на освѣщаемую поверхность.

Кемцъ въ сентябрѣ 1832 года**) воспользовался приборомъ Лесли, для опредѣленія на вершинѣ Фаульгорнъ напряженія лучей, идущихъ непосредственно отъ солнца и отраженныхъ атмосферою. При помощи формулы Бугера

---

*) J. Leslie: Essai sur la chaleur. Londres. 1814.

**) Radau: Actinometrie, p. 45.

Кенцъ нашелъ, что на вершинѣ Фаульгорнъ теряется 30% вслѣдствіе поглощенія атмосферою.

Аббатъ Аллегре, воспользовавшись принципомъ прибора Десли, устроилъ весьма остроумный *солнечный счетчикъ**). Двухколѣнная трубка, оканчивающаяся шариками, вращается вокругъ горизонтальной оси. Шарикъ, котораго внѣшняя поверхность вычернена, выставляется на солнце; другой же, съ вызолоченною поверхностью, прикрытъ экраномъ. Жидкость, наполняющая трубку и отчасти шарики, отъ нагрѣванія вычерненной поверхности перемѣщается къ золоченному шарику, который вслѣдствіе этого наклоняется. При закатѣ солнца черный шарикъ охлаждается, трубка поворачивается въ обратную сторону и при помощи особаго рычага останавливаетъ ходъ часовъ, которые показываютъ продолжительность солнечнаго освѣщенія.

ГЛАВА VII.

Абсолютный пиргеліометръ Пулье.

§ 25. Пулье мы обязаны первыми точными измѣреніями солнечной радіаціи, произведенными имъ въ 1837 году **). Сперва онъ для своихъ наблюденій пользовался геліотермометромъ, въ которомъ термометрическій шарикъ былъ помѣщенъ въ центрѣ сферической оболочки, удерживающей постоянную температуру. Черезъ особое отверстіе солнечные лучи проникали къ шарику термометра, котораго наблюдалась стаціонарная температура.

Однако Пулье вскорѣ оставилъ статическій методъ наблюденій и устроилъ два новыхъ прибора, изъ которыхъ, наиболѣе точный, пиргеліометръ, послужилъ Пулье для многихъ важныхъ изслѣдованій.

---

*) Radau: Actinométrie, p. 45.

**) Pouillet: Traité de Physique, t. II. Comptes Rendus, t. VII. 1838. p. 24. Poggendorff's Ann. t. XLV p. 25, 481. Radau: Actinometrie, p. 58.

Въ приборѣ Гершеля напряженіе солнечныхъ лучей получается сперва въ условныхъ единицахъ, которыя затѣмъ уже переводятъ въ калоріи. Пиргеліометръ Пулье даетъ результаты наблюденій непосредственно въ калоріяхъ.

Пиргеліометръ Пулье состоитъ изъ плоской серебряной, снаружи полированной, цилиндрической коробки, которая наполняется дистиллированною водою. Основаніе цилиндра, направляемое нормально къ солнечнымъ лучамъ, покрывается слоемъ сосновой сажи; съ противоположной же стороны въ цилиндрѣ сдѣлано небольшое отверстіе, черезъ которое пропущенъ резервуаръ чувствительнаго термометра. Стволъ этого термометра заключенъ въ мѣдную оправу, имѣющую продольный разрѣзъ для отсчетовъ; къ оправѣ же прикрѣплена серебряная коробка. Вся система поддерживается двумя кольцами такимъ образомъ, что оправу можно вращать вокругъ оси термометра и тѣмъ самымъ перемѣшивать воду въ серебряной коробкѣ.

Приборъ устанавливается на штативѣ съ шарниромъ, при помощи котораго можно оріентировать зачерненную поверхность коробки нормально къ солнечнымъ лучамъ. Для болѣе же точнаго оріентированія служитъ вспомогательный кругъ такого же діаметра, какъ и коробка. Когда тѣнь отъ коробки совершенно покрываетъ этотъ кругъ, то приборъ установленъ въ надлежащемъ положеніи.

«Опытъ», говоритъ Пулье, «производится слѣдующимъ образомъ: когда вода въ сосудѣ приблизительно принимаетъ температуру окружающаго воздуха, пиргеліометръ помѣщается въ тѣнь, но очень близко отъ того мѣста, гдѣ онъ стоитъ на солнцѣ; его устанавливаютъ такимъ образомъ, что онъ обращенъ къ той же самой части неба; потомъ въ теченіе четырехъ минутъ отмѣчаютъ съ минуты на минуту его нагрѣваніе или охлажденіе; въ теченіе слѣдующей минуты его ставятъ позади экрана и оріентируютъ такимъ образомъ, что, отнявъ экранъ въ концѣ этой минуты, которая будетъ пятою, подвер-

гаютъ дѣйствію перпендикулярныхъ лучей. Затѣмъ въ теченіе пяти минутъ, при дѣйствіи солнечныхъ лучей, отмѣчаютъ съ минуты на минуту нагрѣваніе, которое становится весьма быстрымъ, при чемъ воду слѣдуетъ поддерживать въ движеніи. Въ концѣ пятой минуты вновь ставятъ экранъ, отодвигаютъ приборъ въ первое положеніе и въ теченіе пяти минутъ вновь наблюдаютъ его охлажденіе.

Пусть g нагрѣваніе, которое испытываетъ приборъ въ теченіе пяти минутъ при дѣйствіи солнечныхъ лучей, r и r_1— охлажденіе также въ теченіе пяти минутъ до и послѣ нагрѣванія на солнцѣ: тогда произведенное солнечною теплотою увеличеніе температуры $t=g+\frac{r+r_1}{2}$».

Чтобы точнѣе опредѣлить величину t дѣлаютъ обыкновенно цѣлый рядъ наблюденій, держа приборъ по пяти минутъ поочередно то въ тѣни, то на солнцѣ, и такимъ образомъ получается цѣлый рядъ величинъ t, для которыхъ находятъ среднюю.

Зная же величину t, размѣры зачерненной поверхности, вѣсъ нагрѣваемой воды, а также теплоемкость коробки, стекла и ртути въ резервуарѣ термометра, можно опредѣлить напряженіе солнечныхъ лучей непосредственно въ калоріяхъ.

Пусть p представляетъ вѣсъ воды въ граммахъ, p_1—сумму теплоемкостей серебра, стекла и ртути, ρ—радіусъ зачерненной поверхности; тогда количество солнечной теплоты, нормально падающей на одинъ квадратный сантиметръ въ теченіе одной минуты, выразится слѣдующимъ образомъ:

$$J=\frac{(p+p_1)t}{5\pi\rho^2}.$$

Другой приборъ Пулье состоялъ изъ пиргеліометра, снабженнаго широкимъ собирательнымъ стекломъ. Пулье предполагалъ пользоваться этимъ приборомъ въ томъ случаѣ, когда невозможно производить наблюденій въ свободномъ воздухѣ *).

*) Crova; Annal. de Chimie et de Physique, S. 5, t. XI, 1877.

Чечевица, имѣющая 25 сантиметровъ въ діаметрѣ, устанавливалась такимъ образомъ, что въ фокусѣ ея, на разстояніи 60 сантиметровъ отъ стекла, находился серебряный сосудъ, вмѣщающій 600 граммовъ воды. Форма сосуда и расположеніе чечевицы были такъ расчитаны, что при всякой высотѣ солнца лучи могли падать перпендикулярно на вычерненную поверхность.

Опыты производились какъ и съ предыдущимъ приборомъ, и количество теплоты, падающей въ одну минуту на квадратный сантиметръ поверхности, опредѣлялось формулою, аналогичною прежней.

Но при употребленіи этого прибора необходимы новыя поправки относительно поглощенія лучей стекломъ чечевицы. Браве и Мартенъ пользовались этимъ приборомъ во время сравнительныхъ опытовъ, которые они производили въ 1844 году на Монбланѣ, на высотѣ 3930 м. надъ уровнемъ моря и въ Шамуни*). Разность уровней обѣихъ станцій была равна 2890 метрамъ. Два пиргеліометра, сперва тщательно свѣренные, наблюдались одновременно на обѣихъ станціяхъ. Результаты этихъ измѣреній привели къ выводу, что солнечное напряженіе на горахъ выше, хотя температура была на 22° ниже, нежели въ долинѣ.

Главнѣйшій недостатокъ пиргеліометра Пулье состоитъ въ томъ, что, не смотря на вращеніе сосуда, частицы воды не легко отстаютъ отъ его стѣнокъ и поэтому образуютъ непроводящій слой болѣе нагрѣтой воды. Такимъ образомъ погруженный термометръ не показываетъ въ точности температуры той поверхности, которая подвержена дѣйствію солнечныхъ лучей.

«Это бросается въ глаза», говоритъ Віоль**), «при всѣхъ опытахъ съ пиргеліометромъ. Въ самомъ дѣлѣ, если выставить приборъ на пять минутъ противъ солнца, стараясь его вра-

*) Des causes du froid sur les hautes montagnes. Annales de chimie, 3 serie, t. LVIII. 1860, p. 210. Bravais: Voyages en Scandinave.

**) Violle: «Memoire sur la température moyenne de la surface du soleil». Annal. de chimie 1877.

щать все это время, какъ рекомендуетъ Пулье, а потомъ помѣстить въ тѣнь, то замѣтимъ, что термометръ продолжаетъ подниматься еще въ теченіе одной минуты. Когда же его опять поставить на солнце, то наблюдается аналогичное замедленіе въ ходѣ термометра. Я сдѣлалъ большое число наблюденій съ пиргеліометромъ, который мнѣ точно по модели Пулье устроилъ Румкорфъ, поставивъ прекрасный термометръ Fastré, и всегда наблюдалъ это замедленіе».

Въ виду этого Дюфуръ поступаетъ такимъ образомъ, что въ пятую минуту ставитъ приборъ въ тѣнь; температура его продолжаетъ повышаться и достигаетъ максимума по истеченіи шестой минуты; тогда приборъ опять ставится на нѣкоторое время на солнце, чтобы температура его повысилась на одинъ градусъ; потомъ снова отодвигается въ тѣнь и наблюдается охлажденіе.

Эти наблюденія служили Дюфуру для поправокъ показаній прибора на солнцѣ. Но выгода подобной операціи сомнительна.

До какой степени ошибочны могутъ быть выводы вслѣдствіе подобнаго прилипанія воды къ металлу, показываетъ весьма поучительный опытъ Пекле (Peclet) *).

При его изслѣдованіяхъ теплопроводности металловъ испытываемая пластинка составляла основаніе калориметра, погруженнаго въ большой сосудъ, наполненный водою температуры 100°. Оказалось, что природа пластинки совершенно не вліяла на количество теплоты, передаваемой калориметру въ единицу времени. Пораженный этимъ результатомъ, Пекле сталъ искать причины этого явленія и нашелъ, что она объясняется прилипаніемъ къ нагрѣтому металлу очень тонкаго слоя воды, которая по своей дурной проводимости препятствовала распространенію теплоты въ калориметрѣ. Для устраненія этой ошибки Пекле вынужденъ былъ прибѣгнуть къ особой системѣ щетокъ, помощью которыхъ во время опытовъ

*) Annales de chimie et de physique, 3 série, t. II.

непрерывно перемѣнялся слой воды, соприкасающійся съ металломъ. Таже причина должна конечно вліять и на показанія пиргеліометра Пулье. Кромѣ того трудно допустить, чтобы простое вращеніе прибора вокругъ его оси могло способствовать перемѣшиванію воды, которая, въ силу своей инерціи, можетъ просто скользить только по стѣнкамъ ящика. Тиндаль старался уменьшить вліяніе этого неудобства тѣмъ, что вмѣсто воды употреблялъ ртуть, которая отличается большею теплопроводностью и меньшею теплоемкостью. Но ртуть не смачиваетъ серебра, а потому передняя пластинка сдѣлана была изъ желѣза.

§ 26. *Пиргеліометръ, усовершенствованный профессоромъ Крова* *). Крова подробно разсмотрѣлъ всѣ причины ошибокъ прибора Пулье. Для этого онъ воспользовался двумя пиргеліометрами, одной и той же конструкціи, наблюдая ихъ, согласно указаніямъ Пулье. Выставленные на солнце одинъ подлѣ другого, оба прибора въ общемъ давали согласныя показанія, хотя въ нѣкоторыхъ случаяхъ и замѣчалось небольшое различіе въ ихъ ходѣ. Но когда онъ наблюдалъ при помощи пиргеліометровъ различной конструкціи, то въ этомъ случаѣ замѣчались болѣе значительныя отступленія.

«Часто, отсчитывая термометръ», говоритъ Крова, «достаточно было неосторожно повернуть или толкнуть ось прибора въ сторону, чтобы жидкость въ термометрѣ поднялась на нѣкоторую часть градуса, не смотря на то, что приборъ оставался въ тѣни».

Сравнивая два пиргеліометра одной и той же конструкціи, изъ которыхъ одинъ былъ вычерненъ копотью, а другой покрытъ поглощающимъ слоемъ особаго приготовленія, Крова могъ констатировать, что наиболѣе полное поглощеніе было во второмъ

*) A. Crova. «Mesure de l'intensité calorifique des radiations solaires et des leur absorption par l'atmosphère terrestre». Annales de chimie et de physique, 5 série, t. XI, 1877.

случаѣ, такъ что тепловое напряженіе, измѣряемое вторымъ пиргеліометромъ, всегда оказывалось нѣсколько выше.

Крова полагаетъ, что поглощеніе лучей поверхностью, покрытою приготовленнымъ имъ составомъ, наиболѣе близко подходитъ къ теоретическому случаю полнаго поглощенія.

На основаніи всѣхъ этихъ опытовъ, Крова слѣдующимъ образомъ видоизмѣнилъ приборъ Пулье. Его пиргеліометръ представляетъ вполнѣ цилиндрическій стальной ящикъ, состоящій изъ двухъ плотно скрѣпленныхъ половинъ. Окружность, по которой сходятся эти двѣ половины, покрыта тонкимъ слоемъ сурика и льняного масла. Такая коробка, построенная Golaz'омъ, по мнѣнію Крова, способна въ продолженіе нѣсколькихъ дней удерживать пустоту, полученную помощью ртутнаго насоса. Боковая поверхность этого цилиндра весьма тщательно отполирована, для уменьшенія вліянія лучеиспусканія. Коробка наполнена ртутью, при чемъ въ нее погруженъ термометръ Водэна, вправленный въ стальную пробку, которая ввинчивается въ основаніе цилиндра. Для избѣжанія возможной ломки прибора при расширеніи ртути, пробка, поддерживающая термометръ, окончательно завинчена была лишь только послѣ того, какъ температура коробки, наполненной ртутью, доведена была до 60°. Термометрическій шарикъ находится на самой оси коробки, стволъ же термометра, перпендикулярный къ основанію цилиндра, поддерживается стекляной муфтой, прикрѣпленной къ пробкѣ. Весь приборъ, также какъ и пиргеліометръ Пулье, устанавливается на металлическомъ стержнѣ и при помощи шарньера всегда можетъ быть направленъ къ солнцу. Для лучшаго же оріентированія оси прибора служитъ вычерненный латунный экранъ, получающій тѣнь отъ ящика, какъ и въ пиргеліометрѣ Пулье.

Какъ было уже сказано, Крова обратилъ особое вниманіе на поглощающій слой, которымъ покрывается основаніе цилиндра. По его наблюденіямъ, природа поглощающаго слоя ока-

зываетъ большое вліяніе на получаемые результаты. Еще Меллони показалъ, что, если покрыть полированную металлическую поверхность голландскою сажею, то нѣкоторая часть темной радіаціи проходитъ черезъ слой сажи безъ поглощенія и, отражаясь отъ полированной поверхности, снова выходитъ наружу.

Малое прилипаніе сажи къ металлической поверхности также должно замедлять передачу теплоты калориметрической коробкѣ. Но, съ другой стороны, если, для увеличенія прилипанія, сначала покрыть металлическую поверхность чернымъ матовымъ лакомъ, а потомъ сажею, то теплопроводность черезъ такой слой будетъ еще меньшая.

Для избѣжанія всѣхъ этихъ неудобствъ Крова сначала покрываетъ гальванопластически основаніе ящика слоемъ мѣди, заставляя это основаніе функціонировать въ качествѣ отрицательнаго электрода въ ваннѣ мѣднаго купороса. Послѣ этого мѣдная поверхность погружается въ очень кислый растворъ хлористой платины и приводится въ связь съ отрицательнымъ полюсомъ четырехъ элементовъ Бунзена, при чемъ положительнымъ полюсомъ служитъ платиновая пластинка, погруженная въ туже ванну. При разложеніи раствора хлоръ выдѣляется на платиновой пластинкѣ, а на мѣдной поверхности основанія цилиндра осаждается сильно прилипающій къ нему черный осадокъ платины. Такимъ образомъ получается металлическая матовая поверхность чернаго цвѣта, составляющая одно тѣло съ коробкою. Чтобы еще болѣе увеличить поглощательную способность этой поверхности, ее можно подвергнуть потомъ дѣйствію пламени. Двойной экранъ двадцати сантиметровъ въ діаметрѣ прикрѣпленъ къ подвижному стержню и расположенъ нѣсколько выше прибора, на разстояніи отъ него 50—60 сантиметровъ. Когда приборъ нужно подвергнуть дѣйствію солнечныхъ лучей, экранъ этотъ отводится въ сторону. Вѣсъ всего прибора, приведенный къ теплоемкости воды, можетъ быть разъ навсегда опредѣленъ изъ сравненія результатовъ большого числа кало-

риметрическихъ опредѣленій. Эта основная операція опредѣляетъ собою абсолютную величину всѣхъ актинометрическихъ измѣреній.

Пульe для этого, взвѣшивая отдѣльно каждое тѣло, принадлежащее серебряной коробкѣ, умножалъ найденный вѣсъ на соотвѣтственную удѣльную теплоту.

Крова предпочитаетъ непосредственное опредѣленіе теплоемкости всего прибора.

Для этого онъ помѣщаетъ коробку надъ небольшою горѣлкою, поставленною на 20 сантиметровъ ниже вычерненной поверхности, и ждетъ, пока приборъ не приметъ постоянной температуры. Тогда онъ погружаетъ его въ водяной калориметръ и со всѣми предосторожностями, принимаемыми обыкновенно при опредѣленіи удѣльной теплоты по методу смѣшенія, находитъ искомую величину.

§ 27. *Измѣненія въ пиргеліометрѣ Пулье, сдѣланныя Бартоли и Страчіати.* Въ концѣ 1885 года италіанскіе профессора Бартоли и Страчіати *) произвели цѣлый рядъ измѣреній солнечной энергіи на различныхъ высотахъ надъ уровнемъ моря.

Бартоли и Страчіати свои наблюденія производили по методу Пулье, который они, послѣ долгаго и всесторонняго изученія всѣхъ вообще методовъ измѣренія солнечной радіаціи, признали наиболѣе раціональнымъ.

Что же касается самого прибора, то онъ былъ нѣсколько измѣненъ, въ виду слѣдующихъ замѣченныхъ авторами недостатковъ пиргеліометра Пулье:

1. Колебаніе воды посредствомъ вращенія цилиндрическаго ящика, какъ рекомендуетъ Пулье, недостаточно, и опыты Пекле показали, что жидкій слой, смачивающій дно ящика,

*) A. Bartoli ed E. Stracciati: «Misure del calore solare, eseguit in Italia dal 1885 in Poi».

Il nuovo cimento. 1891. Terza serie. Tomo XXIX, p. 63.

можетъ принести значительный вредъ въ качествѣ дурного проводника теплоты.

2. Степень охлажденія пиргеліометра измѣняется съ минуты на минуту, такъ какъ онъ не защищенъ отъ случайныхъ движеній окружающаго воздуха; вслѣдствіе этого поправки относительно охлажденія, по методу Пулье, часто далеко не точны, а иногда величина поправки равна измѣряемому напряженію.

Вслѣдствіе этого Бартоли и Страчіати, для устраненія замѣченныхъ недостатковъ, и видоизмѣнили пиргеліометръ Пулье.

Приборъ, которымъ они производили свои наблюденія, состоялъ изъ трехъ частей:

1. Калориметра.

2. Оболочки съ двойными стѣнками, между которыми пропускалась струя воды постоянной температуры. Эта оболочка, снабженная круглымъ отверстіемъ для пропусканія солнечныхъ лучей, должна была защищать калориметръ отъ воздушныхъ теченій и лучеиспусканія окружающихъ предметовъ.

3. Параллактической подставки, для поддержанія плоскости названнаго отверстія въ перпендикулярномъ положеніи къ солнечнымъ лучамъ.

Телескопъ съ оріентаторомъ служатъ для того, чтобы видѣть, дѣйствительно ли отверстіе оболочки перпендикулярно къ солнечнымъ лучамъ; если оно не перпендикулярно, то при помощи двухъ большихъ винтовъ всегда можно измѣнить его положеніе надлежащимъ образомъ.

Калориметръ состоитъ изъ ящика, имѣющаго видъ прямоугольнаго параллелепипеда. Стѣнки этого ящика, изъ желтой мѣди, толщиною въ 1 миллиметръ, съ внѣшней стороны никкелированы, а съ внутренней зачернены равномѣрно при помощи петролеумовой лампочки, весьма простого механизма.

Ящикъ снабженъ агитаторомъ, состоящимъ изъ металлическаго поршня, внутри пустого и плотно прилегающаго къ

стѣнкамъ ящика. Этотъ поршень, вышиною въ 5 сантиметровъ, на днѣ имѣетъ круглое отверстіе, отъ котораго проведена трубка къ термометру, прикрѣпленному къ верхней части ящика. Поршень движется равномѣрно вверхъ и внизъ при помощи двухъ мѣдныхъ стержней.

Цинковая оболочка съ двойными стѣнками имѣетъ внутри камеру, въ видѣ параллелепипеда, съ квадратнымъ основаніемъ, для помѣщенія калориметра.

Въ промежуткѣ, между стѣнками, пропускается струя воды, которая потомъ приливаетъ къ агитатору, подобно тому, какъ въ калориметрѣ Бертело.

Надъ открытою поверхностью оболочки, между двумя упомянутыми винтами, прикрѣплена желѣзная совершенно гладкая пластинка съ квадратнымъ отверстіемъ въ 5 кв. дециметровъ. Черезъ это отверстіе и проходитъ пучекъ солнечныхъ лучей, освѣщая значительную часть зачерненной поверхности пиргеліометра

Къ пластинкѣ извнѣ прикрѣпленъ оріентаторъ.

Отсчеты на термометрѣ дѣлаются при помощи подвижнаго телескопа, что даетъ возможность опредѣлять десятыя доли съ точностью до $^1/_{500}$ или даже $^1/_{1000}$ градуса.

Наконецъ въ приборѣ находится еще діафрагма, состоящая изъ цинковаго ящичка, наполненнаго водою и передвигаемаго параллельно желѣзной пластинкѣ съ отверстіемъ, для задерживанія солнечныхъ лучей.

При такомъ устройствѣ прибора, авторы говорятъ, что имъ «удалось устранить недостатки пиргеліометра Пулье» и что измѣренія дѣлаются также хорошо, какъ и обыкновенныя калориметрическія, при чемъ они остаются вѣрными «даже при сильномъ вѣтрѣ».

Такъ напримѣръ Бартоли и Страчіати получили слѣдующіе отсчеты съ точностью до $^1/_{1000}$ градуса:

Катанія 1-го декабря 1887 года.

Время.	Температура.	
8 часовъ 10 мин. 0″	14°,215	въ тѣни
8 » 15 » 0″	14°,219	лучи солнца введены
8 » 20 » 0″	15°,280	» » перехвачены
8 » 25 » 9″	15°,280	въ тѣни.

Вмѣстѣ съ тѣмъ Бартоли и Страчіати произвели цѣлый радъ одновременныхъ наблюденій при помощи одинаковыхъ пиргеліометровъ, заключающихъ въ пиргеліометрическихъ ящикахъ различныя жидкости, какъ-то: воду, крахмальный растворъ, алкоголь, олифу, жидкій или густой глицеринъ, ртуть (для послѣдней употреблялся стальной калориметръ съ такимъ же агитаторомъ). При всѣхъ такихъ опытахъ получались совершенно согласные между собою результаты.

§ 28. *Критическія изслѣдованія Лангле.* Кромѣ указанныхъ уже недостатковъ, было сдѣлано различными учеными еще много другихъ замѣчаній о приборѣ Пулье. Противъ пиргеліометра высказались: Соре, Фрелихъ, Феррель, Пернтеръ, въ особенности Лангле, и наконецъ въ послѣднее время проф. Хвольсонъ.

Соре *) первый указалъ на то, что едва-ли охлажденіе, которому подверженъ пиргеліометръ черезъ лучеиспусканіе и соприкосновеніе воздуха, во время дѣйствія солнечныхъ лучей, есть среднее изъ охлажденій, наблюдаемыхъ въ тѣни до и послѣ выставленія прибора на солнце.

Пернтеръ **) и Феррель ***) считаютъ пиргеліометръ Пулье приборомъ ненадежнымъ.

---

*) Soret: «Recherches sur l'intensité calorifique des radiations solaires». Comptes Rendus de la session à Bordeaux de l'Association française pour l'avancement des Sciences, p. 282. 1872.

**) Pernter: Meteorlog. Zeitschrift 1889, p. 130.

***) W. Ferrel. Temper. of the atmosphere. Profess. papers of the signal service XIII. Washington 1884, p. 49.

Но обстоятельныя критическія изслѣдованія этого прибора впервые сдѣланы были Лангле*), который во время своей знаменитой экспедиціи на гору Уитней пользовался, между прочимъ, и пиргеліометромъ Пулье, содержащимъ воду.

Приборъ этотъ состоялъ изъ цилиндрической мѣдной коробки, покрытой гальванопластически серебромъ. Вычерненное съ внѣшней стороны основаніе цилиндра содержало 100 квадр. сантиметровъ. Коробка, до погруженія въ нее термометра, вмѣщала 104,2 грамма воды.

Изслѣдовавъ пиргеліометръ, Лангле пришелъ къ заключенію, что введенный Пулье способъ поправокъ относительно охлажденія прибора въ воздухѣ лишенъ теоретическаго основанія.

«Эта формула»**), говоритъ Лангле, «теоретически ошибочна, и приборъ не надеженъ даже при самомъ однообразномъ вѣтрѣ». По его мнѣнію, даже и при совершенномъ спокойствіи воздуха такая поправка мало внушаетъ довѣрія.

Далѣе Лангле останавливается на другомъ, уже извѣстномъ намъ, практическомъ недостаткѣ, который состоитъ въ томъ, что термометръ въ первый моментъ продолжаетъ подниматься въ тѣни и падать при выставленіи прибора на солнце.

Такое запаздываніе дѣлается менѣе замѣтнымъ, если взбалтывать сильно воду въ пиргеліометрѣ. Явленіе это, какъ было уже сказано, обусловливается главнымъ образомъ дурною проводимостью воды и ея прилипаніемъ къ дну цилиндра.

Только по возвращеніи на Аллеганы Лангле получилъ пиргеліометръ, устроенный по системѣ Тиндаля, и тогда же произвелъ рядъ сравнительныхъ наблюденій.

Эти наблюденія производились одновременно при помощи воднаго пергеліометра (№ 1), того самаго, которымъ онъ поль-

---

*) S. P. Langley: «Researches on solar heat and its absorption by the earth's atmosphere». Washington. 1881. IV, p. 51.

**) S. P. Langley, p. 52.

зовался во время экспедиціи, и ртутнаго (№ 2), сдѣланнаго изъ желѣза и никкелированнаго.

Въ послѣднемъ приборѣ вычерненная поверхность, подвергающаяся дѣйствію солнечныхъ лучей, содержала въ себѣ 20,268 кв. сантиметровъ. Оба прибора защищены были отъ вѣтра и лучеиспусканія сосѣднихъ предметовъ цилиндрич. поверхностями.

Приводимъ результаты этихъ интересныхъ сравненій, сдѣланныхъ 22 октября 1881 года на Аллеганахъ.

Серія A. Небо молочнаго цвѣта, съ облаками у горизонта. Вѣтеръ—слабый бризъ. Приборъ—пиргеліометръ съ водою (№ 1), защищенный отъ вѣтра жестянымъ цилиндромъ, открытымъ съ обоихъ концовъ и обложеннымъ хлопчатою бумагою.

Получено число калорій квадратнымъ сантиметромъ въ одну минуту: 0,830; 0,768; 0,794; 0,775; среднее: 0,792.

Серія A′. Наблюденія, одновременныя съ серіей A. Приборъ—пиргеліометръ (№ 2), коего коробка была наполнена водою, защищался отъ вѣтра открытымъ цилиндромъ, также обложеннымъ хлопчатою бумагою.

Число калорій, полученныхъ кв. сантиметромъ въ минуту: 0,741; 0,824; 0,749; 0,880; среднее: 0,799.

Серія B. Небо—молочнаго цвѣта, но болѣе ясное, нежели было раньше. Вѣтеръ—легкій бризъ. Приборъ—водяной пиргеліометръ № 1.

Число калорій, полученныхъ квадратнымъ сантиметромъ въ минуту: 0,755; 0,764; 0,617; среднее: 0,712.

Серія B′. Наблюденія, одновременныя съ серіей B. Приборъ № 2—ртутный пиргеліометръ; вода, употреблявшаяся во время первыхъ наблюденій, была удалена, и коробка, высушенная сперва нагрѣваніемъ, была наполнена ртутью; вслѣдствіе этого температура ея вначалѣ была значительно выше температуры воздуха.

Число калорій, полученныхъ въ минуту квадратнымъ сантиметромъ: 0.904; 1.046; 0.774; среднее: 0.908.

Изъ этихъ совмѣстныхъ наблюденій получаются слѣдующія значенія для коэффиціента пропорціональности.

№ 2 наполн. водою. Серіи A и A′.	№ 2 наполн. ртутью. Серіи B и B′.
Отношеніе $\frac{№ 2}{№ 1}=\frac{741}{830}=0.89.$	Отношеніе $\frac{№ 2}{№ 1}=\frac{904}{755}=1.20.$
» $\frac{№ 2}{№ 1}=\frac{824}{768}=1.07.$	» $\frac{№ 2}{№ 1}=\frac{1046}{0764}=1.37.$
» $\frac{№ 2}{№ 1}=\frac{749}{794}=0.94.$	» $\frac{№ 2}{№ 1}=\frac{774}{617}=1.25.$
» $\frac{№ 2}{№ 1}=\frac{880}{775}=1.14.$	Средній коэффиціентъ для № 2, наполн. ртутью...... 1.27.

Средній коэффиціентъ для № 2, наполненнаго водою = 1.01.

Такимъ образомъ множитель 1.27 можетъ служить для поправки относительно непроводимости воды.

«Но здѣсь есть еще много другихъ небольшихъ поправокъ», заключаетъ Лангле *), «которыя Пулье опускаетъ и которыя опускаемъ и мы, хотя онѣ находятся въ полной связи съ актинометромъ. Въ самомъ дѣлѣ, невообразимый трудъ представило бы собою опредѣленіе всѣхъ этихъ величинъ, съ цѣлью исправить столь неудовлетворительный приборъ; но мы замѣтимъ, что опущенныя поправки въ общемъ имѣютъ извѣстное значеніе, такъ какъ величина солнечной постоянной, опредѣляемая по методу Пулье, была бы болѣе, если бы введены были эти поправки»!

§ 29. *Критическія изслѣдованія профессора Хвольсона*

Строго-научное изслѣдованіе методовъ абсолютнаго измѣренія солнечной теплоты впервые было сдѣлано профессоромъ Хвольсономъ, который въ своемъ капитальномъ трудѣ «О современномъ состояніи актинометріи» даетъ аналитическую оцѣнку всѣхъ извѣстныхъ методовъ, указывая въ тоже время, при какихъ условіяхъ можно получить наиболѣе точные результаты.

*) Researches on solar heat стр. 66, гл. IV.

Допустимъ сперва, что какъ нагрѣваніе, такъ и охлажденіе термометра начинается мгновенно, безъ всякаго замедленія, лишь только открывается или закрывается доступъ солнечнымъ лучамъ къ прибору, и выразимъ въ этомъ случаѣ аналитически нагрѣваніе термометра, на основаніи уравненій (5) и (6) § 19.

Пусть тѣло, имѣющее въ данный моментъ температуру T_k, будетъ помѣщено въ срединѣ температуры $T_0=0$. Предоставленное самому себѣ, оно начнетъ охлаждаться, и, спустя t секундъ, будетъ имѣть температуру $T_{k+t}=T_k e^{-mt}$. Но если въ тоже время тѣло находится подъ непосредственнымъ дѣйствіемъ солнечныхъ лучей, то его температура будетъ: $T_{k+t} = T_1(1-e^{-mt})+T_k e^{-mt}$. Стаціонарная температура T_1, которая наступаетъ при весьма продолжительномъ дѣйствіи солнца, и коэффиціентъ охлажденія m могутъ быть опредѣлены, согласно ур. (4′) и (3), формулами: $T_1=\frac{qs}{hS}$ и $m=\frac{hS}{c}$, гдѣ, какъ и въ § 19, q есть количество теплоты, падающей въ единицу времени на единицу поверхности, s—площадь поперечнаго разрѣза пучка лучей, S—поверхность тѣла, c—его теплоемкость и наконецъ h—постоянный коэффиціентъ пропорціональности въ формулѣ Ньютона.

Допустимъ, что тѣло вовсе не лучеиспускаетъ теплоты, идущей къ нему отъ солнца; тогда въ теченіе времени τ количество теплоты, воспринимаемой тѣломъ, должно быть $qs\tau$; если же при этомъ температура тѣла повышается на θ_0^0, то очевидно $c\theta_0=qs\tau$; откуда $\theta_0=\frac{qs\tau}{c}=m\tau T_1$. . . . . (1).

Такимъ образомъ *истинное искомое нагрѣваніе тѣла* θ_0, *соотвѣтствующее случаю отсутствія лучеиспусканія, во время* τ *равняется* $m\tau$*-ой части наибольшаго нагрѣванія возможнаго, когда тѣло лучеиспускаетъ* *).

*) Хвольсонъ, «О современномъ состояніи актинометріи», стр. 67.

Пусть въ начальный моментъ $t=0$ тѣло имѣетъ температуру t_1.

Тогда

въ 0 мин... t_1

» τ » ..$t_2 = t_1 e^{-m\tau}$

» 2τ » ..$t_3 = T_1(1-e^{-m\tau})+t_2 e^{-m\tau} = T_1(1-e^{-m\tau})+t_1 e^{-2m\tau}$

» 3τ » ..$t_4 = t_3 e^{-m\tau} = T_1(1-e^{-m\tau})e^{-m\tau} + t_1 e^{-3m\tau}$.

По формулѣ Пулье, какъ мы видѣли, исправленное отъ охлажденія нагрѣваніе $\theta = R + \frac{r_1+r_2}{2}$.

Найдемъ R, r_1 и r_2.

$$r_1 = t_1 - t_2 = t_1(1-e^{-m\tau})$$

$$R = t_3 - t_2 = T_1(1-e^{-m\tau}) - t_1 e^{-m\tau}(1-e^{-m\tau})$$

$$r_2 = t_3 - t_4 = T_1(1-e^{-m\tau})^2 + t_1 e^{-2m\tau}(1-e^{-m\tau}).$$

Тогда $\theta = \frac{1}{2}(1-e^{-m\tau})(3-e^{-m\tau})T_1 + \frac{1}{2}(1-e^{-m\tau})^3 t_1 \ldots (2)$.

Такъ какъ $m\tau$ на практикѣ всегда оказывается слишкомъ малымъ, то, разлагая послѣднее выраженіе въ рядъ по степенямъ $m\tau$, получимъ:

$$\theta = m\tau T_1 - \frac{2T_1-3t_1}{6}m^3\tau^3 + \frac{T_1-3t_1}{4}m^4\tau^4 - \frac{14T_1-75t_1}{120}m^5\tau^5 + \ldots (3).$$

Изъ формулы (2) мы видимъ, что величина θ, опредѣляемая по методу Пулье, тѣмъ больше, чѣмъ выше начальная температура тѣла t_1. Если же мы выберемъ $t_1 = \frac{2}{3}T_1$, то, согласно формулѣ (3), θ, опредѣляемая по методу Пулье, дѣлается весьма близкою къ теоретически найденной $\theta_0 = m\tau T_1$.

Но въ основѣ нашихъ выводовъ лежитъ законъ Ньютона, который справедливъ только при небольшихъ разностяхъ тем-

пературъ тѣла и окружающей средины; почему послѣднее заключеніе имѣетъ силу только въ томъ случаѣ, если T_1 не больше 6°.

Вотъ тѣ выводы, къ которымъ мы приходимъ, примѣняя законъ Ньютона къ методу Пулье.

Посмотримъ теперь, къ какимъ результатамъ можно прійти, если примѣнить законъ Ньютона къ методу наблюденій, предложенному Крова.

По методу Крова, наблюденіе продолжается 5 минутъ и даетъ 6 отсчетовъ, при чемъ измѣненіе температуры въ теченіе 2-ой и 4-ой минутъ не принимается во вниманіе.

Такимъ образомъ, подобно предыдущему, имѣемъ:

Время*).	Состояніе.	Отсчетъ.
0, τ	тѣнь	t_1; $t_2 = t_1 e^{-m\tau}$
2τ, 3τ	солнце	$t_3 = T_1(1-e^{-m\tau}) + t_2 e^{-m\tau} = T_1(1-e^{-m\tau}) + t_1 e^{-2m\tau}$; $t_4 = T_1(1-e^{-m\tau}) + t_3 e^{-m\tau} = T_1(1-e^{-2m\tau}) + t_1 e^{-3m\tau}$
4τ, 5τ	тѣнь	$t_5 = t_4 e^{-m\tau} = T_1 e^{-m\tau}(1-e^{-2m\tau}) + t_1 e^{-4m\tau}$; $t_6 = t_5 e^{-m\tau} = T_1 e^{-2m\tau}(1-e^{-2m\tau}) + t_1 e^{-5m\tau}$

Если опять составить разности $r_1 = t_1 - t_2$, $R = t_4 - t_3$, $r_2 = t_5 - t_6$, то получимъ:

$$\theta = \tfrac{1}{2}(1-e^{-m\tau})(3-e^{-2m\tau})e^{-m\tau}T_1 + \tfrac{1}{2}(1-e^{-m\tau})(1-e^{-2m\tau})^2 t_1 \ldots (4)$$

Разлагая послѣднее выраженіе въ рядъ по степенямъ $m\tau$, получимъ:

$$\theta = m\tau T_1 - \frac{T_1}{2}m^2\tau^2 - \frac{2(2T_1-3t_1)}{3}m^3\tau^3 + \frac{5(13T_1-24t_1)}{24}m^4\tau^4 - \ldots$$

Здѣсь второй членъ, содержащій $m^2\tau^2$, не исчезаетъ, а поэтому наблюденное θ должно больше отличаться отъ истиннаго $\theta_0 = m\tau T_1$.

*) По методу Пулье $\tau=5$ мин., по методу Крова $\tau=1$ мин.

Такимъ образомъ, если бы въ показаніяхъ прибора не замѣчалось никакого опаздыванія, то методъ Пулье, какъ дающій несравненно болѣе точные результаты, безусловно слѣдовало бы предпочесть методу Крова.

Но мы разсматривали совершенно идеальный случай, если бы на приборѣ моментально отражалось вліяніе солнца и тѣни. На самомъ же дѣлѣ—всегда происходитъ нѣкоторое замедленіе. Если предположить, что въ каждую первую минуту получается лишь нѣкоторая дробная часть α теоретическаго нагрѣванія или охлажденія, тогда, полагая τ=одной минутѣ, получимъ по методу Пулье:

0 мин. t_1

τ » $t'_2=t_1-\alpha t_1(1-e^{-m\tau})$

5τ » $t_2=t'_2 e^{-4m\tau}=t_1\delta$

6τ » $t'_3=t_2+\alpha(T_1-t_2)(1-e^{-m\tau})$

10τ » $t_3=T_1(1-e^{-4m\tau})+t'_3 e^{-4m\tau}=T_1(1-\delta)+t_1\delta^2$

11τ » $t'_4=t_3-\alpha t_3(1-e^{-m\tau})$

15τ » $t_4=t'_4 e^{-4m\tau}=t_3\delta=T_1\delta(1-\delta)+t_1\delta^3$,

гдѣ $\delta=(1-\alpha)e^{-4m\tau}+\alpha e^{-5m\tau}$.

Составляя разности $r_1=t_1-t_2$, $R=t_3-t_2$, $r_2=t_3-t_4$, получимъ:

$$\theta={}^1/_2T_1(1-\delta)(3-\delta)+{}^1/_2t_1(1-\delta)^3 \ldots\ldots\ldots (5)$$

По методу Крова:

0 мин. t_1

τ » $t_2=t_1 e^{-m\tau}$

2τ » $t_3=t_2+\alpha(T_1-t_2)(1-e^{-m\tau})$

3τ мин. $t_4 = T_1(1-e^{-m\tau}) + t_3 e^{-m\tau}$

4τ » $t_5 = t_4 - \alpha t_4(1-e^{-m\tau})$

5τ » $t_6 = t_5 e^{-m\tau}$.

Составляя опять разности $r_1 = t_1 - t_2$, $R = t_4 - t_3$ и $r_2 = t_5 - t_6$, находимъ:

$$\theta = \tfrac{1}{4}(1-e^{-m\tau})(3-\delta e^{-m\tau})\delta T_1 + \tfrac{1}{2}(1-e^{-m\tau})(1-\delta e^{-m\tau})^2 t_1 \ldots (6).$$

$$\delta = 1 - \alpha + \alpha e^{-m\tau}.$$

Если положить $\alpha=1$, то формула (5) обращаетсявъ (2), (но при этомъ вмѣсто 5τ по прежнему нужно поставить τ), формула (6)—въ формулу (4), какъ и слѣдовало ожидать. Но если α сдѣлать$=0$, то формула (6) обращается въ формулу Пулье (2).

Такимъ образомъ, если запаздываніе показаній прибора не велико, т. е. α близко къ единицѣ, то методъ Пулье слѣдуетъ въ значительной степени предпочесть методу Крова. При весьма большихъ замедленіяхъ, когда α близко къ нулю, методъ Крова даетъ лучшіе результаты.

«Во всякомъ случаѣ», замѣчаетъ проф. Хвольсонъ, «абсолютно необходимо, прежде всего опредѣлить для даннаго прибора коэффиціентъ охлажденія m и коэффиціентъ замедленія α и потомъ только приступить къ выбору метода наблюденія. Если выбрать методъ наблюденія, не опредѣливъ m и α, то можно сдѣлать величайшія ошибки, напр., если при маломъ замедленіи выбрать методъ Крова»*).

---

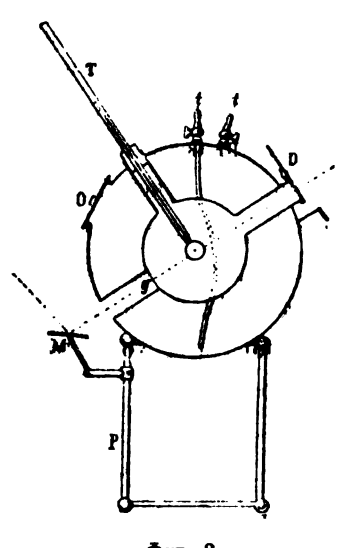
*) О. Хвольсонъ, «О соврем. сост. актинометріи». стр. 82.

ГЛАВА VIII.

Абсолютный актинометръ Віолля.

§ 30. Приборъ Віолля*) состоитъ изъ чувствительнаго термометра, вычерненный шарикъ котораго помѣщается въ центрѣ двухъ концентрическихъ латунныхъ оболочекъ, имѣющихъ діаметры въ 15 и 23 сантиметра. Внутренняя поверхность меньшей оболочки также зачернена, наружная же поверхность внѣшней оболочки тщательно отполирована.

Чтобы придать внутреннему пространству постоянную температуру, промежутокъ между концентрическими оболочками наполняется черезъ отверстіе o, имѣющее герметическую пробку, тающимъ льдомъ, или же посредствомъ трубокъ t и t′ между тѣми же оболочками пропускается водяной токъ постоянной температуры.



Фиг. 3.

По направленію діаметра, перпендикулярнаго къ оси термометра, вставлены двѣ трубки: верхняя трубка съ діафрагмою D, имѣющею различной величины отверстія, направляется на солнце; другая трубка g составляетъ прямое продолженіе первой и на наружномъ своемъ концѣ закрыта стеклянной пластинкой. Наконецъ при помощи маленькаго зеркальца M легко

**) Annales de chimie et de physique, 5 sér., t. X, p. 303 et t. XVII, p. 422.

можно оріентировать приборъ такъ, чтобы весь зачерненный шарикъ термометра подвергался дѣйствію солнечныхъ лучей.

Весь приборъ упирается въ круглое кольцо штатива, вслѣдствіе чего весьма легко направлять ось трубы на любую точку неба.

Наконецъ стѣнки прибора защищаются отъ бокового дѣйствія солнечныхъ лучей особаго рода ширмами.

Ходъ наблюденій при помощи актинометра Віолля слѣдующій.

Поставивъ термометръ на свое мѣсто, тщательно запираютъ обѣ трубки. Термометръ по истеченіи нѣкотораго времени принимаетъ температуру оболочки, которую записываютъ. Послѣ этого оріентируютъ надлежащимъ образомъ весь приборъ, устанавливаютъ желаемаго размѣра діафрагму и, открывъ трубку для принятія лучей, начинаютъ отмѣчать черезъ каждую минуту показанія ртутнаго термометра до тѣхъ поръ, пока онъ не придетъ въ стаціонарное состояніе. На это потребуется около 15 или 20 минутъ. Тогда вновь закрываютъ діафрагму и начинаютъ отмѣчать обратный ходъ температуры, точно также какъ и прежде, пока термометръ вновь не достигнетъ своей начальной температуры. Такимъ образомъ каждое отдѣльное измѣреніе продолжается минутъ 30, а иногда даже и 40.

Изъ этихъ измѣреній непосредственно выводится скорость измѣненія температуры термометра, а вслѣдъ затѣмъ опредѣляется количество теплоты, получаемой отъ солнца, на основаніи слѣдующихъ соображеній.

Мы видѣли (§ 19 гл. V), что $T_e + T_a = T_1 + T_0$. Для $T=0$, $T_e + T_a = T_1$, т. е. сумма избытковъ температуръ при нагрѣваніи и охлажденіи должна равняться стаціонарной температурѣ, что приблизительно и оправдывается на опытѣ. Такъ наблюденія, сдѣланныя Віоллемъ 16-го августа

1875 года на вершинѣ Монъ-Блана, дали слѣдующіе результаты:

Время.	Нагрѣваніе.	Охлажденіе.	Сумма избытковъ.
t	T_e	T_a	$T_e + T_a = T_1$
0′	0°.0	18°.0	18°.0
5	14.9	3.0	17.9
10	17.6	0.6	18.2
15	17.9	0.1	18.0
20	18.0	0.0	18.0

Отсюда въ среднемъ $T_1 = 18°.0$, и изъ форм. (5) и (6), полагая $T_0 = 0$, находимъ: $T_e = T_1(1 - e^{-mt}) = 18(1 - e^{-mt})$

$$T_a = T_1 e^{-mt} = 18 e^{-mt}.$$

Такъ какъ $T_1 = \frac{qs}{hS}$, $m = \frac{hS}{c}$, то $q = \frac{c}{s} m T_1$. Такимъ образомъ, найдя m и зная s—площадь отверстія діафрагмы, а также c—теплоемкость термометрическаго шарика, можно опредѣлить количество теплоты q, падающей въ минуту на одинъ квадратный сантиметръ. Такъ просто опредѣляется q на основаніи теоремъ, выведенныхъ проф. Хвольсономъ *). Но Віолль держится слѣдующаго пріема. Пусть f(t) выражаетъ лучеиспускательную способность чернаго шарика, находящагося въ оболочкѣ, имѣющей температуру t. Если при этомъ термометръ, находясь подъ вліяніемъ источника высокой температуры T, принимаетъ температуру θ, то, по формулѣ Дезена **), $w[f(T) - f(t)] = (V + U)M$, гдѣ V скорость нагрѣванія термометра при температурѣ θ, подъ вліяніемъ падающихъ лучей, U—скорость охлажденія его при той же температурѣ θ, но когда лучи не падаютъ уже на шарикъ термометра; M—означаетъ то абсолютное число

*) О. Хвольсонъ. О совр. сост. актинометріи, стр. 93.

**) Desains: «Etudes des radiations solaires». Comptes Rendus t. LXXVIII. 1874, p. 1455.

калорій, которое потребно для измѣненія показанія термометра на одинъ градусъ термометрической шкалы.

Если температура источника T неизмѣримо выше температуры оболочки t, то уравненіе упрощается въ $wf(T)=(V+U)M$.

Такимъ образомъ мы видимъ, что, если температура источника теплоты T не измѣняется, то сумма скоростей нагрѣванія и охлажденія также остается безъ измѣненія. Пользуясь затѣмъ раньше выведенными нами формулами, какъ эмпирическими, Віолль находитъ:

$$\theta=\theta_0(1-e^{-mt}) = 18(1-e^{-0.36t})$$

$$\theta'=\theta_0 e^{-mt} = 18e^{-0.36t}.$$

Отсюда скорость нагрѣванія $V=\frac{d\theta}{dt}=m\theta_0-m\theta=6^{\circ}.552-0.36\theta$

и скорость охлажденія $U=\frac{d\theta'}{dt}=m\theta' =0.36\theta'$.

Для одной и той же температуры $\theta=\theta'$:
$V+U=m\theta_0=6^{\circ}.552$.

Эта постоянная сумма выражаетъ дѣйствіе теплового источника, и если умножить ее на M и раздѣлить на площадь поперечнаго сѣченія термометрическаго шарика, то и получимъ выраженное въ калоріяхъ количество теплоты, падающей нормально на квадратный сантиметръ.

«Теплоемкость шарика M», говоритъ Віолль, «была тщательно опредѣлена; она была измѣрена на основаніи опытовъ охлажденія, а также непосредственно на совершенно подобномъ термометрѣ, шарикъ котораго былъ отломанъ въ началѣ стержня. Въ обоихъ случаяхъ было найдено $M = 0.222$ и $\frac{M}{s}=0.365$».

§ 31. *Критическія изслѣдованія Лангле.* При снаряженіи экспедиціи на гору Уитней Лангле предполагалъ взять, кромѣ пиргеліометра Пулье, актинометры Віолля, Крова, а также при-

боръ Араго-Дави. Къ сожалѣнію, актинометръ Крова не былъ имъ полученъ своевременно, а приборъ Араго-Дави, хотя и былъ взятъ, но разбился въ пути.

Такъ какъ предъ отправленіемъ въ экспедицію былъ полученъ одинъ только актинометръ Віолля, то Лангле заказалъ еще два небольшихъ актинометра, такой же самой конструкціи, въ г. Питсбургѣ.

Эти актинометры устанавливались на деревянныхъ подставкахъ, что оказалось, говоритъ Лангле, гораздо удобнѣе кольца, принятаго въ приборѣ Віолля.

Главы IV, V, VI и VIII замѣчательнаго сочиненія Лангле, о которомъ мы уже упоминали, служатъ прекрасными образцами того, какимъ образомъ передъ началомъ научной работы должны быть сперва строго испытаны приборы и методы наблюденій.

Въ виду указанныхъ уже недостатковъ метода Пулье, Лангле обратился къ актинометру Віолля, изслѣдовавъ весьма тщательно и этотъ приборъ.

Сначала Лангле опредѣлилъ теплоемкость термометрическаго шарика самымъ точнымъ образомъ и при томъ тремя различными способами.

Въ первыхъ двухъ способахъ Лангле опредѣляетъ вѣсъ стекла, а также ртути и затѣмъ находитъ теплоемкость всего шарика, принимая удѣльную теплоту ртути равною 0.0333 и стекла 0.198.

По этимъ методамъ теплоемкость с одного термометра (Green 4571) оказалась равною 0.4885 и 0.4843, а другого (Bandin 8737) 0.2252 и 0.2278 *). Примѣняя третій методъ, калориметрическій, Лангле получилъ для теплоемкостей тѣхъ же шариковъ числа нѣсколько большія 0.4971 и 0.2536, что Лангле объясняетъ переходомъ нѣкоторой части теплоты отъ стержня термометра къ шарику. Для опредѣленія этой послѣдней части теплоты, Лангле нагрѣвалъ кусокъ трубки термо-

*) Langley, chapter VI.

метра потокомъ горячей воды и наблюдалъ нагрѣваніе шарика. Оказалось, что если температура шарика выше температуры окружающаго пространства на 15°, то 8% полученной теплоты переходятъ отъ шарика къ трубкѣ термометра.

Вслѣдствіе этого Лангле прибавляетъ 8% къ значеніямъ, найденнымъ первыми двумя способами и такимъ образомъ получаетъ для Bandin 8737 $c=0.2446$ и для Green 4571 $c=0.5253$.

Вмѣстѣ съ тѣмъ Лангле доказываетъ, что ни при какихъ комбинаціяхъ стекла и ртути числа, данныя Віоллемъ: $M=0.222$ и $\frac{M}{s}=0.365$, не могутъ быть вѣрными. Дѣйствительно, изъ этихъ данныхъ должно слѣдовать, что площадь сѣченія $s=0.608=\pi\frac{D^2}{4}$, откуда діаметръ поперечнаго сѣченія термометрическаго шарика долженъ быть равнымъ 0,88 сантим., а объемъ шарика 0.357 куб. сантим. Если бы шарикъ такихъ размѣровъ состоялъ изъ чистой ртути, то M (удѣльный вѣсъ 13.6 и удѣльная теплота по Реньо 0.0333) равнялось бы 0.162, а если бы онъ весь состоялъ изъ стекла, то M все таки было бы менѣе 0.222 *).

Такъ какъ теплоемкость подвергаемаго дѣйствію солнечныхъ лучей шарика термометра вычислена Віоллемъ невѣрно,

---

*) «Противъ этого вычисленія, говоритъ проф. Хвольсонъ, можно было бы, пожалуй, возразить, что s есть площадь отверстія діафрагмы, а не площадь поперечнаго сѣченія шарика. Стоитъ только принять D шарика на 10% большимъ, чѣмъ вычисленное Ланглеемъ, чтобы $C=0.222$ сдѣлалось числомъ возможнымъ. Получилось бы $D=10$ миллим., и это было бы какъ разъ діаметръ шарика одного изъ термометровъ, приложенныхъ къ находящемуся въ Павловскѣ актинометру Віолля. Конечно, таковое наше предположеніе представляется довольно сомнительнымъ, такъ какъ И. Віолль навѣрное самъ бы на него указалъ, если бы онъ могъ оградить себя отъ упрека, что допустилъ ошибку въ 40% при опредѣленіи самой важной величины, тѣмъ болѣе, что на эту же ошибку было указано и въ рефератѣ И. Пертнера и при томъ не безъ нѣкоторой насмѣшки». О. Хвольсонъ, стр. 96.

то отсюда Лангле заключаетъ, что найденное Віоллемъ значеніе для солнечной постоянной 2.54 калорій не вполнѣ точно.

Начальная скорость нагрѣванія термометра въ приборѣ Віолля опредѣляется, какъ мы видѣли, формулами:

$\theta = \theta_0(1 - e^{-mt})$ и $\theta_1 = \theta_0 e^{-mt}$, гдѣ θ_0 означаетъ стаціонарный избытокъ температуры термометра, подверженнаго дѣйствію солнечныхъ лучей, и $m.\theta_0 = V + U$—начальную скорость нагрѣванія термометра, исправленную отъ охлажденія, при чемъ m есть постоянный коэффиціентъ охлажденія.

Такимъ образомъ, согласно формуламъ Віолля, повышеніе или пониженіе температуры термометра должно совершаться по логариѳмическому закону; но на самомъ дѣлѣ, какъ убѣдился Лангле, всегда замѣчается нѣкоторое отступленіе отъ логариѳмическаго закона. Это отступленіе отъ логариѳмическаго закона можно обнаружить и графическимъ путемъ.

Будемъ на оси абсциссъ откладывать времена, а на ординатахъ соотвѣтственные имъ избытки температуры; сумма ординатъ въ кривыхъ нагрѣванія и охлажденія для каждаго момента должна удерживать постоянную величину, пропорціональную θ_0. Если бы ходъ измѣненія температуры термометра на самомъ дѣлѣ выражался логариѳмическою кривою, то для всѣхъ ея точекъ подкасательныя удерживали бы постоянную величину; между тѣмъ фактическій матеріалъ показалъ Лангле систематическое уменьшеніе длины подкасательныхъ къ начальной точкѣ, такъ что дѣйствительная величина повышенія температуры ($m\theta_0$) больше, нежели выведенная по формулѣ Віолля.

Для примѣра приведемъ наблюденія Лангле на Mountain Camp, 25 августа 1881 года, при самыхъ благопріятныхъ условіяхъ (эти наблюденія, говоритъ Лангле, «выбраны изъ сотни другихъ примѣровъ, которые мы могли бы также привести»)*).

*) Researches on solar heat, p. 72.

t	θ	θ'	θ+θ'	
0	0.05	16°.42	16°.47	
5	12.40	5 .30	17.70	$\theta_0=17.22$.
10	15.63	1 .93	17.56	
15	16.42	0 .72	17.14	

Формула Віолля можетъ быть представлена въ видѣ:

$mt \log. e = \log. \theta_0 - \log. \theta'$

t=5	t=10	t=15
$\log. \theta_0 = 1.2360$	$\log. \theta_0 = 1.2360$	$\log. \theta_0 = 1.2360$
$\log. \theta' = 0.7243$	$\log. \theta' = 0.2856$	$\log. \theta' = \bar{1}.8573$
0.5117	0.9504	1.3787
$5\ m = \frac{0.5117}{\log. e}$	$10\ m = \frac{0.9504}{\log. e}$	$15\ m = \frac{1.3787}{\log. e}$
$\log. 0.5117 = \bar{1}.7090$	$\log. 0.9504 = \bar{1}.9779$	$\log. 1.3787 = 0.1395$
$\log. 0.4343 = \bar{1}.6378$	$\bar{1}.6378$	$\bar{1}.6378$
0.0712	0.3401	0.5017
$5\ m = 1.179$	$10m = 2.189$	$15m = 3.175$
$m = 0.236$	$m = 0.219$	$m = 0.212$.

Отсюда мы видимъ, что m не постоянно и при томъ тѣмъ больше, чѣмъ ближе сдѣланные отсчеты къ начальному моменту.

Средняя величина m для трехъ точекъ кривой равна 0.222.

$\log. \theta_0 = 1.2360$ $\log. (V+U) = 0.5824$

$\log. m = \bar{1}.3464$ $\log. \frac{M}{S} = \bar{1}.6025$.

$\log. (V+U) = 0.5824$

$V+U = m\theta_0 = 3.82$ $\log.$ числ. кал. $= 0.1849$.

Число калорій, получаемыхъ квадратнымъ сантиметромъ въ одну минуту 1.531.

Эти недостатки метода Віолля побудили Лангле ввести цѣлый рядъ поправокъ, которыя приведены имъ въ VIII главѣ его сочиненія.

Поправка А. Первая поправка Лангле въ сущности не есть поправка въ обыкновенномъ смыслѣ, но представляетъ замѣну статическаго метода Віолля другимъ, динамическимъ.

Какъ было уже изложено, Лангле нашелъ, что если держаться статическаго метода Віолля, т. е. выжидать, пока термометръ не придетъ въ стаціонарное состояніе, то съ возвышеніемъ температуры, будетъ расти потеря теплоты быстрѣе, нежели требуетъ законъ Ньютона; поэтому слѣдуетъ наблюдать нагрѣванія только въ теченіе первыхъ трехъ минутъ*). Эта поправка вычисляется Лангле двумя способами.

Первый способъ. Пусть n наибольшій возможный избытокъ температуры тѣла надъ температурою окружающаго пространства и θ_1, θ_2, θ_3—избытки въ концѣ 1-ой, 2-ой и 3-ей минуты.

Тогда по логариѳмической формулѣ:

$$\theta_1 = n(1 - e^{-m}); \quad n - \theta_1 = e^{-m};$$

$$\theta_2 = n(1 - e^{-2m}); \quad n - \theta_2 = e^{-2m}; \quad \frac{n-\theta_1}{n-\theta_2} = \frac{n-\theta_2}{n-\theta_3} = a = e^{m};$$

$$\theta_3 = n(1 - e^{-3m}); \quad n - \theta_3 = e^{-3m};$$

Отсюда $n = \dfrac{\theta_2^2 - \theta_1\theta_3}{2\theta_2 - (\theta_1 + \theta_3)}$; $e^{m} = a$; $m = \dfrac{\log. a}{\log. e} = \dfrac{\log. a}{0.4343}$.

Тогда начальная скорость нагрѣванія, говоритъ Лангле, представится произведеніемъ $m \times n$, если въ начальный моментъ дѣйствія солнечныхъ лучей температура термометра въ точности равна температурѣ оболочки, или же произведеніемъ

*) Въ Zeitschrift für Instrumentenkunde 1886, p. 237, Мауреръ говоритъ: «Что Qn, а потому m.Qn (т. е. начальная скорость нагрѣванія въ минуту) должно быть малымъ при примѣненіи статическаго метода Віолля, само собою очевидно, но не потому исключительно, что потеря теплоты на термометрѣ тѣмъ значительнѣе (лучеиспусканіемъ, проводимостью или токами, т. е. вслѣдствіе внѣшней проводимости тепла), чѣмъ выше разность температуръ между термометромъ и оболочкою, какъ полагаетъ Лангле, ибо потеря эта можетъ быть по формулѣ вычислена, но также и потому, что отъ перваго момента дѣйствія теплоты до стаціонарнаго состоянія вполнѣ опредѣленное количество теплоты отъ термометрическаго шарика переходитъ на термометрическую трубку, вслѣдствіе притока тепла, которое не можетъ служить болѣе къ возвышенію температуры ртутной массы».

$m(n-\theta)$, если при выставленіи на солнце термометрическій избытокъ былъ равенъ θ *).

Такъ напримѣръ наблюденія на горѣ Уитней 23 августа 1881 года, съ 11 часовъ 30 минутъ до 12 часовъ дня, дали: $t=0', \theta=0^{\circ}.18$ - избытокъ температуры при открытіи діафрагмы.

$$\left.\begin{array}{l} t_1=1', \theta_1=3^{\circ}.60 \\ t_2=2', \theta_2=6^{\circ}.60 \\ t_3=3', \theta_3=8^{\circ}.87 \end{array}\right\}, n=15.93 \left\{\begin{array}{l} n-\theta_1=12.33, \log.(n-\theta_1)=1.0909 \\ n-\theta_2=\ \ 9.33, \log.(n-\theta_2)=0.9699 \\ n-\theta_3=\ \ 7.06, \log.(n-\theta_3)=0.8488 \end{array}\right.$$

$$\log.\ a=0.1211,\quad m=\frac{0.1211}{0.4343}=0.2788,\quad m(n-\theta)= 0.2788\times15.75=4^{\circ}.391.$$

Такимъ образомъ по динамическому методу получается для начальной скорости $4^{\circ}.391$, между тѣмъ, если наблюденіе ведется по обыкновенному статическому методу Віолля, получимъ всего только $3^{\circ}.914$.

Слѣдующая таблица даетъ начальныя скорости, вычисленныя обоими методами для значительнаго числа наблюденій.

Станціи.	Числа. 1881.	Часы.	Скор. нагр. по Лангле.	Скор. нагр. по Віоллю.
Mountain Camp.	21 авг.	12ч.10'—12ч.40'	4.208	3.918
	23 »	11ч.30'—12ч. 0'	4.391	3.914
	23 »	12ч. 0'—12ч.30'	4.895	3.930
	24 »	11ч.30'—12ч. 0'	4.743	3.848
	24 »	12ч. 0'—12ч.30'	4.730	3.890
	25 »	11ч.30'—12ч. 0'	4.020	3.823
Mountain Camp.	21 »	4ч.30'— 5ч. 0'	3.631	2.991
	22 »	4ч.30'— 5ч. 0'	3.558	2.995
	23 »	4ч.30'— 5ч. 0'	3.306	3.305
	24 »	4ч 30'— 5ч. 0'	3.205	3.353
	25 »	4ч.30'— 5ч. 0'	3.824	3.418
	26 »	4ч.30'— 5ч. 0'	3.737	3.173

*) Строго говоря начальная скорость нагрѣванія только и равна произведенію $m\times n$, такъ какъ избытокъ θ—случайный. См. Хвольсонъ: Совр. Сост. Акт. стр. 109.

Lone Pine	21 авг.	12ч. 0′—12ч.30′	3.420	3.279
	23 »	11ч.30′—12ч. 0′	3.970	3.454
	23 »	12ч. 0′—12ч.30′	3.687	3.460
	24 »	11ч.30′—12ч. 0′	4.782	3.368
	24 »	12ч. 0′—12ч.30′	3.879	3.338
Lone Pine	25 »	11ч.30′—12ч. 0′	3.901	3.420
	21 »	4ч.30′— 5ч. 0′	3.286	2.607
	22 »	4ч.30′— 5ч. 0′	3 156	2.641
	23 »	4ч.30′— 5ч. 0′	3.225	2.719
	24 »	4ч.30′— 5ч. 0′	3.056	2.823
	25 »	4ч.30′— 5ч. 0′	3.658	2.751
	27 »	4ч.30′— 5ч. 0′	3.403	2.735
	5 сент.	11ч.30′—12ч. 0′	3.841	5.157
	5 »	12ч. 0′—12ч.30′	4.787	4.196
	6 »	11ч.30′—12ч. 0′	5.720	4.718
	6 »	12ч.01′—12ч.31′	5.424	4.887
	1882.			
Allegheny	4 мар.	11ч.30½′—12ч.—½	4.854	4.061
	4 »	12ч.—½′—12ч.30½	4.582	4.101
	4 »	12ч.32½′— 1ч. 2½	5.695	4.260
Среднее			4.083	3.566

Такимъ образомъ по динамическому методу для начальной скорости нагрѣванія въ среднемъ изъ 31 наблюденія получилось 4°.083, а по методу Віолля только 3°.566. Отношеніе этихъ двухъ чиселъ 1.145, такъ что къ результату, полученному по методу статическому, надлежитъ придать поправку въ +14.5%.

Второй способъ. Чтобы точнѣе опредѣлить начальную скорость нагрѣванія въ единицу времени, Лангле непосредственно наблюдалъ нагрѣваніе въ ¼ или ½ минуты, и полученные отсчеты, соотвѣтственнымъ умноженіемъ на 4 или на 2, приводились къ минутѣ. При этомъ термометръ сперва вынимался изъ прибора и настолько охлаждался, чтобы во время первой

половины опыта такое же количество теплоты притекало къ нему отъ оболочки, какое теряется термометромъ во вторую половину опыта.

Для примѣра приведемъ наблюденія Лангле 20 октября 1882 г. на Аллеганахъ.

Актинометръ № 1. $\frac{\text{теплоемкость шарика}}{\text{площадь большого круга}} = 0.3484.$

Повышеніе температуры во время:

15 секундъ		30 секундъ		60 секундъ	
1°.00		1°.95		4°.05	
1°.05		1°.95		3°.95	
0°.95	Среднее 1°.02	2°.00	Среднее 1°.99	3°.95	Среднее 3°.98.
1°.05		2°.05		4°.05	
1°.05		2°.00		3°.90	

Сводя на одну минуту, получаемъ:

$4 \times 1^\circ.02 = 4^\circ.08$
$2 \times 1^\circ.99 = 3^\circ.98$ Среднее 4°.01.
$1 \times 3^\circ.98 = 3^\circ.98$

Такимъ образомъ среднее изъ 15 наблюденій даетъ для начальной скорости нагрѣванія 4°.01 въ минуту, и число калорій, падающихъ въ минуту на одинъ квадратный сантиметръ: $4^\circ.01 \times 0.3484 = 1.397$.

Актинометръ № 2. $\frac{\text{теплоемкость шарика}}{\text{площадь большого круга}} = 0.4070.$

Повышеніе температуры во время:

15 секундъ		30 секундъ		60 секундъ	
0°.89		1°.73		3°.45	
0°.85	Среднее 0°.82	1°.75	Среднее 1°.68	3°.35	Среднее 3°.33
0°.71		1°.55		3°.20	

Если опять свести на одну минуту и среднее изъ девяти наблюденій умножить на 0.4070, то получимъ для одного квадратнаго сантиметра 1.352 калоріи.

Въ то время, когда на актинометрѣ № 1 дѣлались по методу Лангле отсчеты, наблюдалась начальная скорость по методу Віолля, при помощи актинометра № 2, а именно съ 11 30 мин. до 12 часовъ 30 минутъ.

Въ этомъ случаѣ для начальной скорости получено было 2°.82 и 2°.99.

Такія же наблюденія съ актинометромъ № 1, одновременныя съ отсчетами по методу Лангле на актинометрѣ № 2, дали для начальной скорости: 3°.66 и 3°.62.

И такъ наблюденія 20-го октября 1882 года можно резюмировать слѣдующимъ образомъ:

Актинометръ № 1.

1. Начальная скорость по методу Віолля:

3°.66 (1.276 калорій) }
3°.62 (1.261 калорій) } среднее 3°.64.

2. Начальная скорость по методу Лангле: 4°.01 изъ 15 наблюденій.

Актинометръ № 2.

3. Начальная скорость по методу Віолля:

2°.82 (1.148 калорій) }
2°.99 (1.217 калорій) } среднее 2°.91.

4. Начальная скорость по методу Лангле: 3°.32 изъ 9 наблюденій.

При чемъ наблюденія 1 съ 4 и 2 съ 3 производились одновременно.

Для того, чтобы сдѣлать сравнимыми результаты наблюденій, полученныхъ одновременно различными приборами, числа въ калоріяхъ, найденныя помощью актинометра № 2, нужно умножить на коэффиціентъ 1.054.

Тогда получимъ:

1. Актинометръ № 1. Число калорій по методу Віолля 1.276 и 1.261.
2. Актинометръ № 2. Число калорій » » Лангле 1.425 и 1.425.

Отношенія этихъ чиселъ 1.117 и 1.130.

3. Актинометръ № 2. Число калорій по методу Віолля 1.210 и 1.283.
4. Актинометръ № 1. Число калорій » » Лангле 1.397 и 1.397.

Отношенія этихъ чиселъ 1.154 и 1.089.

Изъ наблюденій 20 октября, а также 29 марта 1882 года получены были слѣдующія поправки въ процентахъ:

+11.3%.
+18.3.
+11.7.
+12.9.
+15.4.
+ 8.8.

Среднее +13.2%.

Такимъ образомъ Лангле нашелъ, что если производить актинометрическія наблюденія по методу Віолля, то найденная этимъ путемъ начальная скорость повышенія температуры въ среднемъ должна быть увеличена на 13.2%.

Поправка B, вслѣдствіе несовершенной проводимости ртутной массы. Поглощеніе теплоты термометрическимъ шарикомъ происходитъ вслѣдствіе теплопроводности ртути, а также путемъ конвекціи, образующимися въ ртути теченіями, которыя въ особенности сильны въ томъ случаѣ, когда тепловые лучи падаютъ на шарикъ термометра снизу. Такъ какъ при наблюденіяхъ солнечные лучи падаютъ только сверху и при томъ вообще наклонно къ поверхности шарика, то передача тепла происходитъ преимущественно путемъ теплопроводности ртутной массы и, естественно, замедляется.

Поправка въ данномъ случаѣ зависитъ отъ высоты солнца во время наблюденія и состоитъ въ томъ, что наблюденное дѣйствіе лучей приводятъ къ нагрѣванію, соотвѣтствующему положенію солнца въ надирѣ.

Для опредѣленія величины поправки B были установлены два актинометра, при чемъ отверстіе одного направлено было внизъ, а другого вверхъ или въ сторону. Пучекъ солнечныхъ лучей, направленныхъ помощью геліостата горизонтально, падалъ на два зеркала, которыя направляли лучи во внутрь каждаго актинометра.

Показанія обоихъ приборовъ сравнивались между собою, и на основаніи такихъ опытовъ составлена была формула $T = t + b \cos z/_2$, гдѣ t—наблюденное нагрѣваніе, T—исправленное нагрѣваніе, z—зенитное разстояніе солнца.

Въ наблюденіяхъ Лангле величина поправки колебалась между 6.97% и 8.08%.

Поправка С, вслѣдствіе несовершенства поглощенія тепла зачерненнымъ шарикомъ. Лучи, встрѣчающіе шарикъ термометра, въ особенности краевые, отражаются отчасти его поверхностью. Чтобы опредѣлить необходимую вслѣдствіе этого поправку, Лангле устроилъ термометръ съ полушаровиднымъ резервуаромъ и подвергалъ нагрѣванію то плоскую, то выпуклую его поверхность. Термометръ, говоритъ Лангле, достигалъ въ обоихъ случаяхъ почти одной и той же стаціонарной температуры, но начальная скорость нагрѣванія наблюдалась бо́льшая въ томъ случаѣ, когда лучи падали на плоскую сторону резервуара.

По мнѣнію Лангле, явленіе это можно объяснить бо́льшею толщиною стекла на плоской сторонѣ*).

Средняя величина поправки С, полученная Лангле изъ пяти сдѣланныхъ имъ такимъ образомъ наблюденій, оказалась равною 2.6%.

Поправка D, вслѣдствіе несовершенной экспозиціи прибора. Производя наблюденія по методу Віолля, Лангле замѣтилъ, что въ актинометрахъ № 2 и № 3 черезъ 15 минутъ еще не достигалась стаціонарная температура, а только въ актинометрѣ № 1.

Изъ одновременныхъ наблюденій приборовъ № 1 и № 2 обнаружилось, что вслѣдствіе этого обстоятельства, вычислен-

---

*) «Весьма сомнительно», говоритъ проф. Хвольсонъ, «чтобы это объясненіе было правильное. Я доказалъ, что для освѣщеннаго сплошного шара стаціонарная температура не зависитъ отъ числа и состава концентрическихъ слоевъ, изъ которыхъ онъ состоитъ. Весьма вѣроятно, что этотъ результатъ можетъ быть обобщенъ, и было бы желательно произвести анализъ для полушара (по методу К. Неймана)». О Совр. Сост. Актин. стр. 121.

ное изъ показаній второго прибора напряженіе солнечныхъ лучей вообще было меньше, въ сравненіи съ результатами наблюденій помощью актинометра № 1. Для нахожденія поправки D, Лангле произведено было тринадцать опытовъ, изъ которыхъ онъ вывелъ для средней величины означенной поправки $+3\%$.

Поправка E, въ зависимости отъ колебанія атмосфернаго давленія. Эта поправка, указанная еще Соре, обусловливается тѣмъ обстоятельствомъ, что термометрическій шарикъ теряетъ теплоту, вслѣдствіе проводимости воздуха, а также путемъ конвекціи, тѣмъ въ большей степени, чѣмъ плотнѣе воздухъ. Чтобы привести актинометрическія наблюденія, сдѣланныя на большихъ высотахъ, къ морскому уровню, необходимо было ввести поправку, величина которой найдена была Лангле слѣдующимъ образомъ. Наблюдалось охлажденіе нагрѣтаго термометрическаго шарика, заключеннаго въ мѣдную оболочку, имѣющую въ діаметрѣ 5 сантиметровъ. При давленіи воздуха въ 731 мм. скорость охлажденія была почти на 13% большая, чѣмъ при давленіи въ 0.5 мм., при этомъ избытокъ температуры былъ равенъ $2^{\circ}.5$; но при избыткѣ температуры въ 5°, поправка достигаетъ уже 19%. Такъ какъ во время наблюденій на Mountain Camp атмосферное давленіе равно было 502 мм., то, чтобы привести къ нормальному давленію, Лангле вводитъ поправку — 4.4%, а для наблюденій на Lone Pine поправку, равную -1.4% *).

Поправка F, относительно лучеиспусканія небеснаго свода. На шарикъ термометра падаютъ не только лучи, посылаемые непосредственно солнечнымъ дискомъ, но также идущіе отъ сосѣднихъ къ нему частей небеснаго свода. При помощи фотометрическихъ измѣреній была найдена величина этой поправки:

Для Lone Pine въ полдень $= -1\%$,

» » » при низкомъ стояніи солнца $= -2\%$,

*) Поправка эта очевидно излишняя, если для каждаго отдѣльнаго опыта опредѣляется коэф. охлажденія m.

Для Уитней въ полдень$=0\%$,

» » при низкомъ стояніи солнца$=-1\%$.

Такимъ образомъ, если обозначить посредствомъ c напряженіе солнечныхъ лучей, найденное по методу Віолля, тогда необходимо еще ввести слѣдующія поправки:

	Lone Pine. *стояніе солнца*		*Mountain Camp.* *стояніе солнца*	
	высокое	низкое	высокое	низкое
A......	$+0.138c$	$+0.138c$	$+0.138c$	$+0.138c$
B......	$+0.081c$	$+0.070c$	$+0.081c$	$+0.071c$
C......	$+0.026c$	$+0.026c$	$+0.026c$	$+0.026c$
D......	$+0.030c$	$+0.030c$	$+0.030c$	$+0.030c$
E......	$-0.014c$	$-0.014c$	$-0.044c$	$-0.044c$
F......	$-0.010c$	$-0.020c$	$-0.000c$	$-0.010c$
	$+0.275-0.024$	$+0.264-0.034$	$+0.275-0.044$	$+0.265-0.054$
	$+0.251c$	$+0.230c$	$+0.231c$	$+0.211c$

Въ среднемъ поправка для Lone Pine и Mountain Camp достигаетъ $+23\%$.

§ 32. *Критическія изслѣдованія проф. Хвольсона.* Изложенныя въ предыдущемъ § поправки Лангле, въ особенности первую, проф. Хвольсонъ подвергнулъ обстоятельной теоретической и опытной критикѣ и пришелъ къ заключенію, что введеніе этихъ поправокъ нисколько не улучшаетъ результатовъ, получаемыхъ помощью актинометра Віолля.

При опредѣленіи теплового напряженія солнечныхъ лучей намъ необходимо имѣть въ виду слѣдующія формулы, выведенныя на основаніи закона Ньютона:

$$T_1=\frac{qs}{hS} \text{ и } m=\frac{hS}{c}, \text{ откуда } mT_1=\frac{qs}{c}, \text{ или искомое}$$

напряженіе $q = mT_1\frac{c}{s}$, гдѣ T_1—стаціонарная температура, которую приняло бы тѣло, если бы законъ Ньютона для этой температуры оставался справедливымъ.

Пусть, при дѣйствіи лучей на термометръ, наблюдаются послѣдовательно четыре температуры: θ, θ_1, θ_2, θ_3.

Если для нихъ примѣнимъ законъ Ньютона, то, на основаніи ур. 5 § 19, при $T_0=\theta$ будемъ имѣть:

$$\left.\begin{aligned} \theta_1 &= T_1-(T_1-\theta)e^{-m} \\ \theta_2 &= T_1-(T_1-\theta)e^{-2m} \\ \theta_3 &= T_1-(T_1-\theta)e^{-3m} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (a)$$

или:

$$\left.\begin{aligned} \theta_1-\theta &= (T_1-\theta)(1-e^{-m}) \\ \theta_2-\theta &= (T_1-\theta)(1-e^{-2m}) \\ \theta_3-\theta &= (T_1-\theta)(1-e^{-3m}) \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (b)$$

Изъ ур. (a) слѣдуетъ:

$$(1) \quad \ldots\ldots \quad \theta_2-\theta_1 = e^{-m}(T_1-\theta)(1-e^{-m})$$

$$(2) \quad \ldots\ldots \quad \theta_3-\theta_2 = e^{-2m}(T_1-\theta)(1-e^{-m})$$

Принимая же во вниманіе первое изъ ур. (b), получимъ:

$$\theta_2-\theta_1 = e^{-m}(\theta_1-\theta)$$

$$\theta_3-\theta_2 = e^{-2m}(\theta_1-\theta);$$

откуда $\left(\frac{\theta_2-\theta_1}{\theta_1-\theta}\right)^2 = \frac{\theta_3-\theta_2}{\theta_1-\theta}$, или $(\theta_2-\theta_1)^2 = (\theta_1-\theta)(\theta_3-\theta_2)$.

Вотъ то условіе, которому, въ случаѣ примѣнимости закона Ньютона, должны удовлетворять четыре температуры, полученныя при отсчетахъ на актинометрѣ Віолля въ теченіе первыхъ трехъ минутъ. Между тѣмъ, какъ изъ наблюденій Лангле, такъ и проф. Хвольсона, произведенныхъ въ Павловскѣ 19 августа 1891 г., всегда оказывается $(\theta_2-\theta_1)^2>(\theta_3-\theta_2)(\theta_1-\theta)$.

Такимъ образомъ въ данномъ случаѣ законъ Ньютона не примѣнимъ, что и необходимо имѣть въ виду при наблюденіяхъ по методу Лангле. Вторая часть этого неравенства можетъ быть меньше первой по двумъ причинамъ: или θ_3—мало, или же нагрѣваніе въ теченіе первой минуты $\theta_1-\theta$ мало. Послѣднее обстоятельство въ особенности заслуживаетъ вниманія, такъ какъ тепловой потокъ, встрѣчающій шарикъ термометра, долженъ сперва пройти черезъ слой сажи и стеклянную оболочку, которая своимъ рас-

ширеніемъ замедляетъ поднятіе ртути въ трубкѣ термометра. Поэтому, если отбросить наблюденіе въ теченіе первой минуты и воспользоваться только отсчетами θ_1, θ_2, θ_3, то изъ ур. (1) и (2) получимъ: $e^m = \frac{\theta_2-\theta_1}{\theta_3-\theta_2}$ и $T_1 = \frac{\theta_2^2-\theta_1\theta_3}{2\theta_2-\theta_1-\theta_3}$, при чемъ второе тождественно съ ур. Лангле.

Кромѣ того, нужно имѣть въ виду, что при термометрическихъ отсчетахъ неизбѣжны ошибки, которыя оказываютъ большое вліяніе на величину $q = mT_1$.

Въ самомъ дѣлѣ, изъ ур. $e^m = \frac{\theta_2-\theta_1}{\theta_3-\theta_2}$ при измѣненіи θ_2 имѣемъ:

$$e^m dm = \frac{d\theta_2(\theta_3-\theta_1)}{(\theta_3-\theta_2)^2};\quad dm = \frac{\theta_3-\theta_1}{(\theta_3-\theta_2)(\theta_2-\theta_1)}d\theta_2.$$

Вставляя вмѣсто θ_1, θ_2, θ_3 числа изъ примѣра Лангле, получимъ: $dm = 0.774 d\theta_2$; такъ какъ $m = 0.28$, то для относительной процентной варіаціи будемъ имѣть $\frac{dm}{m}100 = 276.4 d\theta_2$.

Отсюда видно, что при измѣненіи θ_2 на 0.01^0 m измѣняется на $2{,}8\%$. Такимъ образомъ опредѣленіе одного изъ множителей $mT_1 = q$ не надежно; тоже самое нужно сказать относительно другого множителя T_1, знаменатель котораго практически всегда малая дробь. Весьма возможная ошибка въ опредѣленіи θ_2 на 0.03^0 измѣняетъ произведеніе mT_1 на $4{,}55\%$.

Въ виду указанныхъ недостатковъ метода Лангле, проф. Хвольсонъ даетъ новый методъ наблюденія, при которомъ избѣгаются какъ болѣе сильныя нагрѣванія, встрѣчающіяся въ методѣ Віолля, такъ и вычисленіе m и T_1 по формуламъ, приводящимъ къ ненадежнымъ результатамъ.

«Наблюдаемъ», говоритъ проф. Хвольсонъ *), «нагрѣваніе въ теченіе второй и третьей минуты (вмѣстѣ взятыхъ) послѣ открыванія діафрагмы, т. е. температуры θ_1 и θ_3; продолжаемъ нагрѣваніе еще полминуты, закрываемъ діафрагму при $t = 3{,}5$ мин. и наблюдаемъ черезъ каждыя полминуты охлажденіе до тѣхъ

*) Совр. Сост. Актин. Хвольсонъ, стр. 113.

поръ, пока температура не сдѣлается меньшею, чѣмъ θ_1. Это имѣетъ мѣсто при $t=9$ до 11 минутъ. Изъ всего времени, въ теченіе котораго наблюдалось охлажденіе, мы выбираемъ такой періодъ, началу и концу котораго соотвѣтствовали бы двѣ температуры θ' и θ'', которыя по возможности были бы близки къ θ_3 и θ_1. Если этотъ періодъ содержитъ въ себѣ τ минутъ, то мы вычисляемъ m по формулѣ $\theta''=\theta' e^{-m\tau}$».

Отсюда мы можемъ получить коэффиціентъ охлажденія, соотвѣтствующій періоду нагрѣванія отъ θ_1 до θ_3, а именно:

$$m=\frac{1}{\tau}\operatorname{Log.}\frac{\theta'}{\theta''}=\frac{\log.\theta'-\log.\theta''}{0.4343\tau} \qquad (3)$$

Что же касается величины T_1, то она можетъ быть найдена при помощи ур. $\theta_3-\theta_1=(T_1-\theta_1)(1-e^{-2m})$, которое даетъ $T_1=\theta_1+\dfrac{\theta_3-\theta_1}{1-e^{-2m}}$.

Изъ ур. (3), при $\tau=5$ минутамъ получимъ:
$\Delta m = {}^1/_5\dfrac{\Delta\theta'}{\theta'} - {}^1/_5\dfrac{\Delta\theta''}{\theta''}$.

Если при отсчетѣ температуры θ'' сдѣлана ошибка на 0.01°, то, полагая $\theta''=3.6$ и $m=0.28$, получимъ: $\dfrac{\Delta m}{m}100=-{}^1/_5.{}^1/_{3,6}.\dfrac{100}{0,28}\Delta\theta''=-19.8\Delta\theta''$, ошибку въ 0.2%, т. е. въ 14 разъ меньшую, чѣмъ прежде. Вліяніе же варіаціи θ' еще меньшее, такъ какъ θ' всегда больше θ''.

Также точно и опредѣленіе T_1 здѣсь надежнѣе, нежели по методу Лангле.

ГЛАВА IX.

Методъ Ангстрема.

§ 33. *Основной принципъ.* При устройствѣ актинометра Ангстремъ*) имѣлъ въ виду слѣдующія условія, которымъ дол-

*) Sur une nouvelle méthode de faire des mesures absolues de la chaleur rayonnante. Knut Angström. Upsal. 1886.

женъ удовлетворять строгій методъ абсолютныхъ измѣреній лучистой энергіи.

1. Теплота, не переходя черезъ какой либо поглощающій слой, должна непосредственно падать на поглощающую поверхность прибора.

2. Эта поверхность должна поглощать возможно большее количество и при томъ въ одинаковой степени всякаго рода теплоту.

3. Поглощенная теплота должна по возможности быстро передаваться калориметру и въ немъ распредѣляться наиболѣе равномѣрно.

4. Теплоемкость калориметра, также какъ и величина поглощающей поверхности, должны одинаково легко опредѣляться.

5. Также легко должны опредѣляться измѣненія температуры и поправки относительно охлажденія.

Предположимъ теперь, что мы имѣемъ два совершенно тождественныя калориметра A и B, удовлетворяющіе первымъ четыремъ условіямъ. Пусть каждый изъ нихъ попеременно подвергается дѣйствію измѣряемой радіаціи, такъ что B получаетъ нѣкоторый избытокъ температуры относительно A и ставится въ тѣнь, вслѣдъ затѣмъ подвергается радіаціи калориметръ A. Отмѣтимъ время, когда температурная разность калориметровъ B и A станетъ равною $+k^0$, потомъ тотъ моментъ, когда эта разность будетъ равна $-k^0$. Черезъ нѣсколько времени, снова подвергаютъ B радіаціи и опять отмѣчаютъ моменты, когда температурная разность равна $-k^0$ и $+k^0$ и т. д.

Тогда не трудно показать, что тепловое напряженіе лучей, опредѣляемое количествомъ теплоты, падающей на единицу перпендикулярной поверхности, $Q=\frac{2kD}{c\alpha T}=\text{const.}\frac{k}{T}$, гдѣ T средняя величина отмѣченныхъ промежутковъ времени, D—теплоем-

кость калориметра, α—поглощательная способность поверхности, с—величина этой поверхности.

Пусть при температурѣ окружающаго воздуха въ 0°, калориметръ А имѣетъ температуру θ', калориметръ В—температуру θ_1'', такъ что $\theta_1''-\theta'=k^\circ$. Далѣе предположимъ, что въ концѣ извѣстнаго времени T температура A будетъ θ'' и температура B станетъ θ_1', при чемъ опять $\theta''-\theta_1'=k^\circ$.

Кромѣ того предположимъ, что тепловая радіація повысила бы температуру калориметра въ единицу времени на b°, если бы не было никакого охлажденія.

Наконецъ допустимъ, что коэффиціентъ охлажденія (пониженіе температуры калориметра въ одну минуту при температурномъ избыткѣ въ 1°) остается равнымъ s только въ теченіе времени t, которое требуется, чтобы калориметры приняли одну и ту же температуру θ, и потомъ имѣетъ значеніе s_1 во все то время t_1, которое необходимо, чтобы первоначальная разность температуръ измѣнила свой знакъ; при чемъ $s_1 > s$.

Тогда мы можемъ написать:

$$\theta_1''=\theta'+k \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

$$\theta''=\theta_1'+k \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Такъ какъ нагрѣваніе здѣсь очень незначительно, то можно примѣнить законъ охлажденія Ньютона; тогда, въ случаѣ пониженія температуры калориметра, поставленнаго въ тѣнь, будемъ имѣть: $d\theta=-s\theta dt$, а для находящагося на солнцѣ: $d\theta=bdt-s\theta dt$.

Интегрируя эти выраженія между предѣлами $t=0$ и $t=t$, будемъ имѣть для первой части опыта:

$$\theta=\theta_1'' e^{-st} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

$$b-s\theta=(b-s\theta')e^{-st} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

Также точно для послѣдней части опыта:

$$\theta_1'=\theta e^{-s_1t_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

$$b-s_1\theta''=(b-s_1\theta)e^{-s_1t_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

Исключая θ_1'', θ' и θ между уравненіями (1), (3), (4), получимъ:

$$\frac{b}{b+sk}=e^{-st} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (7)$$

Исключеніе же θ'', θ_1' и θ между уравненіями (2), (5), (6) даетъ:

$$\frac{b-s_1k}{b}=e^{-s_1t_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (8)$$

Тогда изъ уравненій (7) и (8) находимъ:

$$t=\frac{1}{s}\left\{\text{Log.}\,(b+sk)-\text{Log.}\,b\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (9)$$

$$t_1=\frac{1}{s_1}\left\{\text{Log.}\,b-\text{Log.}(b-s_1k)\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (10)$$

Если развернуть два послѣднія выраженія въ ряды, то получимъ:

$$\left.\begin{aligned} t&=\frac{k}{b}\left(1-\frac{sk}{2b}+\frac{s^2k^2}{3b^2}+\ldots\ldots\right)\\ t_1&=\frac{k}{b}\left(1+\frac{s_1k}{2b}+\frac{s_1^2k^2}{3b^2}+\ldots\ldots\right)\end{aligned}\right\}\text{, откуда}$$

$$T=t+t_1=\frac{2k}{b}\left\{1+\frac{k}{4b}(s_1-s)+\frac{k^2}{6b^2}(s_1^2+s^2)+\ldots\ldots\right\} \quad (11)$$

Но послѣдній рядъ быстро сходящійся, такъ какъ $\frac{k}{b}$ всегда можно выбрать < 1; что же касается s и его измѣненій, то они очень малы; поэтому можемъ ограничиться только первымъ его членомъ:

$$T=t+t_1=\frac{2k}{b} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (12)$$

Пусть напр. $k=\frac{1}{2}$, $b=1^0$, то $\frac{k}{b}=\frac{1}{2}$ и $T=1$.

Если предположить, что $s=0{,}10$ и $s_1=0{,}12$, то непосредственно по форм. (9) и (10) найдемъ $T=1{,}004$.

Такимъ образомъ, когда мы, пренебрегая членами, содержащими s, пользуемся приближенною формулою (12), то сдѣланная ошибка не превышаетъ 0,4%, и на основаніи этого мы можемъ совсѣмъ не вводить въ нашу формулу коэффиціента охлажденія, въ чемъ и заключается неоцѣнимое преимущество весьма остроумнаго метода Ангстрема.

Напряженіе лучей, падающихъ нормально на поверхность калориметра, можетъ быть найдено изъ теоретическаго повышенія его температуры b, а именно $caQ = Db$; откуда $Q = \frac{Db}{ca}$; внося значеніе b изъ (12), окончательно получимъ: $Q = \frac{2kD}{caT}$.

§ 34. *Актинометръ Ангстрема для абсолютныхъ измѣреній.* Въ приборѣ Ангстрема солнечная энергія воспринимается мѣдными кружками A и B, имѣющими въ діаметрѣ 30 миллиметровъ и толщиною 5 миллиметровъ. Кружки эти, по возможности тождественные, со всѣхъ сторонъ тщательно платинированы и отполированы, за исключеніемъ поверхности, воспринимающей солнечные лучи. Эти неполированныя поверхности покрыты сперва, по методу Крова, гальванопластически слоемъ мѣди и платиновой черни, а потомъ слегка закопчены. Съ противоположной стороны каждой пластинки въ центрѣ сдѣлано углубленіе, доходящее до середины всей ея толщины. Въ это углубленіе ввинчивается термоэлектрическій элементъ, состоящій изъ мѣди и нейзильбера, при этомъ хорошо изолированная мѣдная проволока входитъ въ нейзильберовую проволоку и на самомъ концѣ съ нею спаивается. Такъ какъ нейзильберовая проволока проходитъ отъ одной пластинки къ другой, а мѣдныя проволоки сообщаются съ гальванометромъ, то показанія послѣдняго зависятъ отъ разности температуръ обѣихъ пластинокъ. Два винта позволяютъ оріентировать приборъ такимъ образомъ, чтобы на обѣ пластинки тепловые лучи падали нормально. Чтобы облегчить это оріентированіе, на подвижной части прибора, къ

которой прикрѣплены калориметрическія пластинки, сдѣланъ изъ тонкихъ проволокъ крестъ, тѣнь котораго проектируется на металлическомъ дискѣ, когда приборъ надлежащимъ образомъ установленъ. На этой же подвижной части прибора находится двойной экранъ, который при помощи рукоятки можно такъ повернуть, что онъ закроетъ собою одинъ изъ металлическихъ дисковъ.

Предварительно нужно опредѣлить:

1. Теплоемкость калориметрическихъ пластинокъ.

2. Величину ихъ поглощающей поверхности.

3. Отклоненіе гальванометра, соотвѣтствующее разности температуры въ 1°.

4. Поглощательную способность калориметрической поверхности.

Теплоемкость однородныхъ калориметрическихъ пластинокъ можно опредѣлить по одному изъ способовъ, принятыхъ въ калориметріи. Величина поверхности опредѣляется измѣреніемъ діаметра пластинокъ при помощи дѣлительной машины.

Опредѣленіе отклоненія гальванометра въ градусахъ теплоты не представляетъ никакихъ затрудненій. Для этого нужно снять съ прибора калориметрическія пластинки и погрузить каждый термоэлементъ вмѣстѣ съ термометромъ въ особую ванну.

Измѣняя температуру ванны, легко найти зависящее отъ этого отклоненіе стрѣлки гальванометра.

Только четвертое опредѣленіе можетъ представить нѣкоторую трудность.

Ангстремъ принимаетъ коэффиціентъ поглощенія вычерненной поверхности равнымъ 0,98. Болѣе точныя опредѣленія могутъ быть сдѣланы по способу, изложенному Ангстремомъ въ особомъ мемуарѣ *). Хотя при малой толщинѣ и хорошей проводимости калориметрическихъ пластинокъ стрѣлка аперіоди-

---

*) Wied Ann. t. 26. 1875. p. 273.

ческаго гальванометра въ тотъ же моментъ приходитъ въ движеніе, лишь только измѣняется положеніе экрана, тѣмъ не менѣе Ангстремъ слѣдуетъ методу Крова, т. е. начинаетъ наблюденія спустя нѣкоторое время.

Наблюденія свои Ангстремъ производитъ такимъ образомъ: отмѣтивъ положеніе равновѣсія стрѣлки гальванометра, подвергаетъ приборъ радіаціи. Послѣ того, какъ нагрѣваемая пластинка получитъ нѣкоторый избытокъ температуры, напр. въ 1°.5, измѣняется положеніе экрана, при чемъ отмѣчаются послѣдовательно моменты, когда разность достигаетъ: 0°.8, 0°.6, 0°.4, 0°.2 и —0°.8, —0°.6, —0°.4, —0°.2. Такимъ образомъ получаются интервалы времени, соотвѣтствующіе разностямъ температуръ k^0, $2k^0$, $3k^0$......; отсюда получается средняя величина T, соотвѣтствующая k^0.

Въ приборѣ Ангстрема отклоненія стрѣлки гальванометра наблюдаются помощью трубы съ раздѣленною линейкою. При равновѣсіи стрѣлки гальванометра нить указываетъ на 500 дѣленіе, и 50 дѣленій шкалы соотвѣтствуютъ температурной разности пластинокъ въ 1°. Всякій разъ, когда отклоненіе стрѣлки гальванометра достигаетъ 200 дѣленій (4°), экранъ поворачивается въ другую сторону; но такъ какъ въ первое время, непосредственно слѣдующее за перекладываніемъ экрана, возможны неправильности, Ангстремъ опредѣляетъ лишь моменты, соотвѣтствующіе прохожденію перекрестныхъ нитей черезъ дѣленія: 350, 400, 450 и 550, 600, 650.

Вотъ напр. наблюденія Ангстрема 10 іюля 1885 года.

	Отклоненія.	Время прохожденія стрѣлки при: положит. откл.	отрицат. откл.	Промежутокъ времени, соотв. 50 дѣл. шкалы.
Первый рядъ	150	1 ч. 33 м. 09 с.	1 ч. 35 м. 11 с.	40.7 с.
	100	» 33 м. 27 с.	» 34 м. 48 с.	40.5 с.
	50	» 33 м. 44 с.	» 34 м. 24 с.	40.0 с.
Второй рядъ	150	1 ч. 37 м. 28 с.	1 ч. 39 м. 29 с.	40.3 с.
	100	» 37 м. 46 с.	» 39 м. 06 с.	40.0 с.
	50	» 38 м. 04 с.	» 38 м. 45 с.	41.0 с.
			Среднее......	40.4 с.

Температурная разность калориметровъ въ $0^{\circ}.0195$ производила отклоненіе стрѣлки гальванометра на одно дѣленіе шкалы; отсюда $k=50\times0.0195$; наблюденія дали $T=\frac{40.4}{60}$.

При этомъ вѣсъ калориметрическихъ пластинокъ$=32.334$ грамма, удѣльная теплота$=0.094$, діаметръ пластинокъ$=3.02$ см.

Такимъ образомъ теплоемкость $D=32.334\times0.094=3.039$; освѣщаемая поверхность $c=3.14\times1.51^2=7.160$ кв. см.

Принимая поглощательную способность черной поверхности равною 0.98, получимъ:

$Q=\frac{2\times50\times0.0195\times3.039}{7.160\times0.98}\cdot\frac{60}{40.4}=1.25$ калорій. Такимъ образомъ одно изъ преимуществъ метода Ангстрема состоитъ въ томъ, что здѣсь всѣ постоянныя могутъ быть опредѣлены весьма легко и съ большою точностью.

Желая убѣдиться на самомъ дѣлѣ въ независимости результатовъ отъ охлаждающаго вліянія вѣтра, Ангстремъ опредѣлялъ напряженіе радіаціи постояннаго источника сперва при нормальныхъ условіяхъ, а потомъ во время колебаній воздуха, производимыхъ вблизи прибора большою пластинкою, и въ обоихъ этихъ случаяхъ получались одинаковые результаты.

Профессоръ Хвольсонъ*) указываетъ, между прочимъ, на слѣдующія обстоятельства, которыя необходимо имѣть въ виду при наблюденіяхъ помощью прибора Ангстрема.

1. Варіаціи склоненія во время даже слабыхъ магнитныхъ пертурбацій могутъ достигать нѣсколькихъ дѣленій шкалы, внося такимъ образомъ соотвѣтственныя ошибки въ результаты наблюденій.

2. Электровозбудительная сила элемента мѣдь-нейзильберъ зависитъ отъ абсолютной температуры спаевъ, которая можетъ измѣняться въ широкихъ предѣлахъ въ теченіе дня и въ особенности въ продолженіе цѣлаго года.

---

*) О совр. сост. актин. стр. 131.

3. Проволоки, въ особенности толстая нейзильберовая, уводятъ нѣкоторую часть теплоты, получаемой калориметрическими пластинками.

ГЛАВА X.

Методъ профессора Хвольсона.

§ 35. *Сущность метода равныхъ временъ.* Вслѣдъ за первою работою, выводами которой мы неоднократно уже пользовались, въ печати появился новый, не менѣе замѣчательный трудъ проф. Хвольсона: «Актинометрическія изслѣдованія къ устройству пиргеліометра и актинометра»*). Эта книга посвящена изложенію новаго метода актинометрическихъ наблюденій, имѣющаго въ основѣ принципъ Ангстрема, а также описанію двухъ новыхъ приборовъ, которые были авторомъ построены и изслѣдованы лѣтомъ 1892 года.

Если тѣло, имѣющее температуру T_0, подвергнуть дѣйствію солнечныхъ лучей, то по истеченіи времени t отъ начала нагрѣванія, его температура (§ 29 гл. VII) будетъ:

$$T=T_1-(T_1-T_0)e^{-mt}=T_0e^{-mt}+T_1(1-e^{-mt}) \quad \ldots\ldots (1)$$

Когда же тѣло, при той же самой температурѣ T_0, будетъ поставлено въ тѣнь, то, по истеченіи времени t отъ начала охлажденія, температура его обратится въ

$$T=T_0e^{-mt} \quad \ldots\ldots (2)$$

Въ этихъ обоихъ случаяхъ температура окружающаго пространства предполагается равною 0°.

Имѣя въ виду двѣ вышенаписанныя формулы, разсмотримъ подробнѣе процессъ одновременнаго охлажденія и нагрѣванія двухъ совершенно тождественныхъ тѣлъ, имѣющихъ начальныя

*) «Actinometrische Untersuchungen zur Construction eines Pyrheliometers und eines Actinometers». St.-Petersburg. 1893.

температуры φ_0 и ψ_0, при чемъ $\varphi_0-\psi_0=\theta_0$, а температура окружающаго пространства равна 0^0.

Если первое тѣло, защищенное отъ дѣйствія солнечныхъ лучей, начнетъ охлаждаться, а второе въ тоже время будетъ нагрѣваться свободно падающими на его поверхность солнечными лучами, то по истеченіи времени t тѣла примутъ температуры:

$$\left.\begin{aligned}\varphi&=\varphi_0\, e^{-mt} \ldots\ldots\ldots\ldots \\ \psi&=\psi_0\, e^{-mt}+T_1\,(1-e^{-mt})\end{aligned}\right\}, \text{ откуда}$$

$$\theta=\theta_0\, e^{-mt}-T_1\,(1-e^{-mt}) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

Сущность метода Ангстрема состоитъ въ томъ, что опредѣляются моменты, когда нѣкоторая произвольно избранная разность температуръ двухъ тождественныхъ тѣлъ, перейдя черезъ нуль, измѣняетъ свой знакъ. Промежутокъ времени t, въ теченіе котораго первоначальная разность θ измѣняется въ $-\theta$, можно разбить на два періода: t', въ концѣ котораго θ обращается въ нуль и t'', считая отъ того момента, когда $\theta=0$, до $\theta=-\theta$, т. е. $t=t'+t''$.

Чтобы найти t', нужно въ (3) положить $\theta=0$; тогда (замѣняя θ_0 черезъ θ) будемъ имѣть:

$$0=\theta e^{-mt'}-T_1\,(1-e^{-mt'}) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

$$\text{и} \quad t'=\frac{1}{m}\,\mathrm{Log.}\,(1+\frac{\theta}{T_1}) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

Для опредѣленія t'' въ (3) измѣняемъ θ на $-\theta$ и полагаемъ $\theta_0=0$;

$$\text{тогда } t''=-\frac{1}{m}\,\mathrm{Log.}\,(1-\frac{\theta}{T_1}) \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

Разлагая въ рядъ какъ (5), такъ и (6), получимъ:

$$t'=\frac{\theta}{mT_1}\left\{1-\frac{\theta}{2T_1}+\frac{\theta^2}{3T_1^{\,2}}-\frac{\theta^3}{4T_1^{\,3}}+\ldots\ldots\right\} \ldots\ldots \quad (a)$$

$$t''=\frac{\theta}{mT_1}\left\{1+\frac{\theta}{2T_1^2}+\frac{\theta^2}{3T_1^2}+\frac{\theta^3}{4T_1^3}\cdots\cdots\right\}\cdots\cdots \quad (b)$$

Складывая, находимъ:

$$t=t'+t''=\frac{2\theta}{mT_1}\left\{1+\frac{\theta^2}{3T_1^2}+\cdots\cdots\right\}\cdots\cdots\cdots \quad (7)$$

Такъ какъ $mT_1=q\frac{s}{c}$, то, полагая $t=\frac{2\theta}{mT_1}$, получимъ:

$$q=\frac{2c\theta}{st}\left\{1+\frac{m^2t^2}{12}+\cdots\cdots\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (8)$$

Если t не больше 1—2 минутъ, mt представляетъ дробь, высшими степенями которой всегда можно пренебречь. Такъ напр., если $m=0.2$ и $t=1$, тогда не только 4-я, но и 3-я степень mt можетъ быть отброшена. Можно наконецъ ограничиться только первымъ членомъ, полагая $q=\frac{2c\theta}{st}$; но тогда необходимо опредѣлить степень приближенія найденнаго q. Для этого опредѣлимъ mt.

Изъ (7), какъ первое приближеніе, имѣемъ: $t=\frac{2\theta}{mT_1}$;

тогда: $$t'=\frac{\theta}{mT_1}\left(1-\frac{\theta}{2T_1}\right)=\frac{t}{2}\left(1-\frac{mt}{4}\right)$$ $$t''=\frac{\theta}{mT_1}\left(1+\frac{\theta}{2T_1}\right)=\frac{t}{2}\left(1+\frac{mt}{4}\right)$$; откуда $\frac{t''}{t'}=\frac{1+\frac{mt}{4}}{1-\frac{mt}{4}}$.

что даетъ: $$\frac{mt}{2}=\frac{\theta}{T_1}=2\frac{t''-t'}{t''+t'}=2\frac{t''-t'}{t}\cdots\cdots\cdots \quad (9)$$

$$m=4\frac{t''-t'}{t^2}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (10)$$

Такимъ образомъ, по наблюденнымъ t' и t'' мы можемъ опредѣлить добавочный членъ въ (8) и найти соотвѣтственную поправку въ процентахъ. Вмѣстѣ съ тѣмъ формулы (9) и (10) даютъ возможность на основаніи наблюденій найти m и T_1.

Численныя значенія m и T_1 находятся въ большой зависимости отъ силы вѣтра; величина m, по вычисленіямъ проф. Хвольсона, колеблется между 0.2 и 0.36; T_1 сверхъ того характеризуется напряженіемъ солнечныхъ лучей, и при высокомъ стояніи солнца, въ тихіе ясные дни, достигаетъ 15°.

Такъ опредѣляется величина q по способу, который можетъ быть названъ способомъ «равныхъ разностей температуръ». Посмотримъ теперь, какимъ образомъ вычисляется q по способу «равныхъ временъ», предложенному проф. Хвольсономъ. Въ основѣ новаго метода лежитъ тотъ же принципъ Ангстрема. Основное отличіе метода Ангстрема отъ всѣхъ прочихъ состоитъ въ томъ, что здѣсь одновременно наблюдаются два тождественныя тѣла: въ тѣни и на солнцѣ. Профессоръ Хвольсонъ вполнѣ оцѣнилъ важныя преимущества этого оригинальнаго метода, такъ какъ при такомъ способѣ наблюденій вліяніе вѣтра не можетъ быть слишкомъ чувствительно; если вѣтеръ усиливается, то первое тѣло быстрѣе охлаждается, но за то второе медленнѣе нагрѣвается, и на измѣненіе разности θ явленіе это будетъ имѣть ничтожное вліяніе.

Такимъ образомъ будемъ вновь разсматривать два по возможности одинаковыя тѣла, имѣющія нѣкоторую первоначальную разность температуръ. Такъ какъ болѣе нагрѣтое тѣло помѣщено въ тѣни, а болѣе холодное подвергается дѣйствію солнечныхъ лучей, то первоначальная разность ихъ температуръ будетъ уменьшаться до нуля, затѣмъ, перемѣнивъ знакъ, начнетъ вновь возрастать по абсолютному значенію. Сущность метода «равныхъ временъ» состоитъ въ томъ, что наблюдаются измѣненія разности температуръ обоихъ тѣлъ, происходящія въ равныя между собою промежутки времени. Пусть въ начальный моментъ $t=0$ разность температуръ двухъ тѣлъ θ_1; во время t она равна θ_2 и еще черезъ t минутъ, во время $2t$, эта разность θ_3

Введемъ, какъ непремѣнное условіе, что разности θ_1 и θ_3 всегда противоположныхъ знаковъ, а разность θ_2, соотвѣтствующая времени t, по возможности малая положительная или отрицательная величина. Ближайшая наша задача будетъ состоять въ томъ, чтобы вывести формулу, которая по наблюденнымъ θ_1, θ_2 и θ_3, а также времени t, давала бы значеніе q.

По формулѣ (3): $\theta_2=\theta_1 e^{-mt}-T_1(1-e^{-mt})$ .. (11)

$$\theta_3=\theta_1 e^{-2mt}-T_1(1-e^{-2mt}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (12)$$

Тогда: $\left.\begin{array}{l}\theta_1-\theta_2=(\theta_1+T_1)(1-e^{-mt})\\ \theta_2-\theta_3=(\theta_1+T_1)(1-e^{-mt})e^{-mt}\end{array}\right\}$, откуда:

$$e^{mt}=\frac{\theta_1-\theta_2}{\theta_2-\theta_3} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (13)$$

Вставляя это значеніе e^{mt} въ (11), получимъ:

$$T_1=\frac{\theta_2^2-\theta_1\theta_3}{\theta_1-2\theta_2+\theta_3} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (14)$$

Логариѳмируя (13), находимъ:

$$m=\frac{1}{t}\,\mathrm{Log.}\frac{\theta_1-\theta_2}{\theta_2-\theta_3}; \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (15)$$

Перемножая (14) и (15), окончательно найдемъ:

$$mT_1=\frac{1}{t}\,\frac{\theta_2^2-\theta_1\theta_3}{\theta_1-2\theta_2+\theta_3}\,\mathrm{Log.}\frac{\theta_1-\theta_2}{\theta_2-\theta_3}=q\frac{s}{c} \quad \ldots\ldots (16)$$

Такимъ образомъ $q=\frac{c}{s}\cdot\frac{1}{t}\cdot\frac{\theta_2^2-\theta_1\theta_3}{\theta_1-2\theta_2+\theta_3}\,\mathrm{Log.}\frac{\theta_1-\theta_2}{\theta_2-\theta_3}$ .. (17)

Вотъ точная формула, опредѣляющая q по способу «равныхъ временъ». Для практическихъ цѣлей можно ограничиться приближенною.

Для этого сперва докажемъ, что $mt=\mathrm{Log.}\frac{\theta_1-\theta_2}{\theta_2-\theta_3}=$
$=2\frac{\theta_1-2\theta_2+\theta_3}{\theta_1-\theta_3}(1+\frac{m^2t^2}{12})$.

Пусть $\theta_1 - \theta_2 = a$ и $\theta_2 - \theta_3 = b$. Тогда $b = ae^{-mt}$; или

$$b = a\left(1 - mt + \frac{m^2t^2}{1.2} - \frac{1}{6}m^3t^3 + \ldots\right).$$

$$2(a-b) = 2amt(1 - {}^1/_2 mt + {}^1/_6 m^2t^2)$$

$$a+b = 2a(1 - {}^1/_2 mt + {}^1/_4 m^2t^2 - {}^1/_{12} m^3t^3).$$

Откуда $\dfrac{2(a-b)}{a+b} = mt(1 - {}^1/_{12} m^2t^2) = \dfrac{2(\theta_1 - 2\theta_2 + \theta_3)}{\theta_1 - \theta_3}$;

$$mt = \frac{2(\theta_1 - 2\theta_2 + \theta_3)}{\theta_1 - \theta_3}(1 + {}^1/_{12} m^2t^2) \;\ldots\ldots\ldots\; (22)$$

Тогда $q = \dfrac{2c}{s} \cdot \dfrac{1}{t} \cdot \dfrac{\theta_2^2 - \theta_1\theta_3}{\theta_1 - \theta_3}\left(1 + \dfrac{m^2t^2}{12}\right) \;\ldots\; (23)$

Но θ_1 и θ_3 по условію имѣютъ противоположные знаки. Положимъ, что θ_1 положительно; тогда $\theta_1\theta_3$ въ числителѣ и θ_3 въ знаменателѣ отрицательны, и выраженіе для q приметъ видъ:

$$q = \frac{2c}{s} \cdot \frac{1}{t} \cdot \frac{\theta_1\theta_3 + \theta_2^2}{\theta_1 + \theta_3}\left(1 + \frac{m^2t^2}{12}\right).$$

Такимъ образомъ θ_1 и θ_3 въ послѣдней формулѣ выражаютъ абсолютныя значенія температурной разности; знакъ же при θ_2 не играетъ, очевидно, никакой роли.

И такъ мы имѣемъ:

приближенное значеніе.... $q = \dfrac{2c}{s} \cdot \dfrac{1}{t} \cdot \dfrac{\theta_1\theta_3 + \theta_2^2}{\theta_1 + \theta_3}$ .... (24)

болѣе точное значеніе.... $q = \dfrac{2c}{s} \cdot \dfrac{1}{t} \cdot \dfrac{\theta_1\theta_3 + \theta_2^2}{\theta_1 + \theta_3}\left(1 + \dfrac{m^2t^2}{12}\right)$... (25)

наконецъ вполнѣ точное.. $q = \dfrac{c}{s} \cdot \dfrac{1}{t} \cdot \dfrac{\theta_2^2 + \theta_1\theta_3}{\theta_1 - 2\theta_2 - \theta_3} \operatorname{Log} \dfrac{\theta_1 - \theta_2}{\theta_2 + \theta_3}$... (26)

Посмотримъ, съ какою точностью можно опредѣлить q помощью приближенныхъ формулъ. Возьмемъ наблюденія въ Павловскѣ 24 августа 1892 г. въ 3 ч. 22′ пополудни:

$$\theta_1=2^{\circ}.61,\ \theta_2=+0^{\circ}.16,\ \theta_3=1^{\circ}.79\ ;\ t=1\ \text{мин}.$$

Тогда $\theta_1\theta_3+\theta_2^2=4.6719+0.0256=4.6975$

$$\theta_1-2\theta_2-\theta_3=0.50$$

$$\theta_1+\theta_3=4.40.$$

По ф. (26) точное выраженіе для $q=2.142\ \frac{c}{s}$.

По приближен. ф. (24) $q = 2.135\ \frac{c}{s}$, т. е. на 0.33% меньше противъ точнаго значенія.

Опредѣлимъ теперь степень приближенія q, вычисляемаго по ф. (25).

Для $mt=\frac{2(\theta_1-2\theta_2-\theta_3)}{\theta_1+\theta_3}$ находимъ 0.227; тогда $\frac{m^2t^2}{12}=0.0043$; отсюда слѣдуетъ, что q, опредѣляемое по ф. (25), на 0.43% больше приближеннаго значенія, найденнаго по ф. (24), а потому довольно близко къ истинному значенію.

Такимъ образомъ мы всегда можемъ пользоваться первою приближенною формулою, такъ какъ $\frac{m^2t^2}{12}$ въ процентахъ не велико, даже если взять для m и t наибольшія значенія: 0.35 и 1′.

На первый взглядъ можетъ показаться страннымъ, что значеніе q, опредѣляемое ф. (24), не зависитъ отъ знака θ_2. Два наблюденія, дающія одни и тѣже значенія для θ_1 и θ_3, но равныя и противоположныя для θ_2, приведутъ къ одному и тому же q. Дѣло въ томъ, что q пропорціонально m и T_1, которыя даются формулами: $\frac{mt}{2}=\frac{\theta_1-2\theta_2-\theta_3}{\theta_1+\theta_3}$ и $T_1=\frac{\theta_1\theta_3+\theta_2^2}{\theta_1-2\theta_2-\theta_3}$. При θ_2 положительномъ, T_1 больше, напротивъ m меньше, не-

жели въ томъ случаѣ, когда θ_2 отрицательно. Первый случай имѣетъ мѣсто напр. при слабомъ, а второй при сильномъ вѣтрѣ. Вмѣстѣ съ тѣмъ нужно замѣтить, что при слабой радіаціи θ_1 и θ_3 малы, вслѣдствіе чего величина $\theta_1 - 2\theta_2 - \theta_3$ также очень мала, и опредѣленіе m и T_1 помощью этого выраженія не надежно; но такого рода неудобства въ ф. (24) не могутъ встрѣчаться.

§ 36. *Сравненіе методовъ: «равныхъ разностей температуръ» и «равныхъ временъ».* Въ IV-ой главѣ своего сочиненія проф. Хвольсонъ сравниваетъ оба метода измѣренія солнечной радіаціи, въ основѣ которыхъ лежитъ принципъ Ангстрема, и по справедливости приходитъ къ заключенію, что новый его методъ во многихъ отношеніяхъ слѣдуетъ предпочесть методу «равныхъ разностей температуръ».

Главнѣйшее преимущество метода «равныхъ временъ» заключается въ томъ, что онъ одинъ только можетъ быть примѣненъ къ устройству переноснаго актинометра, служащаго для относительныхъ измѣреній солнечной радіаціи. Но и помимо этого обстоятельства методъ профессора Хвольсона заслуживаетъ вниманія во многихъ случаяхъ, которые мы и разсмотримъ.

Удобство наблюденія. Въ этомъ отношеніи оба метода находятся почти въ одинаковыхъ условіяхъ, такъ какъ одинаково легко опредѣлить время t, въ теченіе котораго данное число дѣленій шкалы проходитъ мимо нити въ полѣ зрѣнія, такъ и число дѣленій, которыя въ данный промежутокъ времени проходятъ мимо вертикальной нити зрительной трубы.

Но при этомъ необходимо имѣть въ виду слѣдующее обстоятельство. Во время усиленной радіаціи легко получить въ короткій промежутокъ времени отклоненія магнита въ 40, 80 и даже 120 дѣленій шкалы, что соотвѣтствуетъ температурнымъ разностямъ въ 1^0, 2^0 и 3^0; когда же радіація быстро понижается, какъ напр. при прохожденіи облаковъ мимо солнечнаго диска, такія отклоненія дѣлаются уже трудно дости-

жимыми. Въ методѣ проф. Хвольсона это обстоятельство не можетъ повлечь за собою никакихъ затрудненій; методъ равныхъ температурныхъ разностей въ этомъ отношеніи не удобенъ.

Точность результатовъ. Формулы, посредствомъ которыхъ опредѣляется тепловое напряженіе лучей въ обоихъ методахъ, какъ мы видѣли, слѣдующія:

По методу Ангстрема $$q=\frac{2c}{s}\cdot\frac{\theta}{t}\left\{1+\frac{m^2t^2}{12}\right\} \quad\ldots\ldots\ldots (1)$$

$$\frac{mt}{2}=2\frac{t''-t'}{t} \quad\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

$$q=\frac{2c}{s}\cdot\frac{\theta}{t} \quad\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

» » Хвольсона $$q=\frac{2c}{s}\cdot\frac{\theta_1\theta_3+\theta_2^2}{\theta_1+\theta_3}\cdot\frac{1}{t}\left\{1+\frac{m^2t^2}{12}\right\}\ldots\ldots(4)$$

$$\frac{mt}{2}=\frac{\theta_1-2\theta_2-\theta_3}{\theta_1+\theta_3}\quad\ldots\ldots\ldots (5)$$

$$q=\frac{2c}{s}\cdot\frac{\theta_1\theta_3+\theta_2^2}{\theta_1+\theta_3}\cdot\frac{1}{t}\quad\ldots\ldots\ \ldots\ldots (6)$$

Если мы будемъ пользоваться приближенными формулами, то необходимо знать степень приближенія найденныхъ результатовъ, или же поправки, выраженныя въ процентахъ. Посмотримъ въ какомъ методѣ достигается большая точность.

Если въ методѣ равныхъ временъ избранная нами температурная разность приблизительно такая же, какъ и первоначальная разность въ методѣ Ангстрема, то, очевидно, въ первомъ случаѣ t будетъ означать все время наблюденія, а во второмъ—только половину этого періода, т. е. въ (1) t будетъ въ два раза больше, чѣмъ въ (4), а потому и ошибка, при одинаковыхъ прочихъ условіяхъ, въ методѣ Хвольсона должна быть въ четыре раза меньше, нежели въ методѣ Ангстрема.

Если довольствоваться точностью до 1%, то въ методѣ равныхъ временъ для приближенной формулы совсѣмъ не нужна поправка, между тѣмъ въ методѣ равныхъ температурныхъ разностей она необходима, коль скоро время наблюденія больше одной минуты.

Быстрота вычисленія. Формулы первыя конечно проще, нежели послѣднія, и въ этомъ отношеніи методъ равныхъ разностей температуръ удобнѣе, въ особенности для текущихъ наблюденій, когда имѣется въ виду опредѣлить суточный ходъ солнечной радіаціи; однако время каждаго наблюденія не должно превышать одной минуты.

На основаніи такихъ соображеній проф. Хвольсонъ приходитъ къ слѣдующимъ выводамъ:

1. Методъ «равныхъ разностей температуръ», при маломъ времени наблюденія, приводитъ къ болѣе простымъ вычисленіямъ; методъ «равныхъ временъ» даетъ болѣе точные результаты при всякомъ времени наблюденія.

2. Для текущихъ наблюденій предпочтительнѣе методъ равныхъ разностей температуръ.

3. Для полученія болѣе точныхъ результатовъ, наблюденія слѣдуетъ производить по методу равныхъ временъ.

Главы V—VIII названной книги посвящены проф. Хвольсономъ весьма тщательному, какъ теоретическому, такъ и опытному изслѣдованію всѣхъ обстоятельствъ, могущихъ имѣть вліяніе на окончательный результатъ опредѣленія солнечной радіаціи q.

Въ особенности подробно изслѣдованы проф. Хвольсономъ вліянія уклоненій отъ закона охлажденія Ньютона при болѣе сильныхъ нагрѣваніяхъ пластинокъ, измѣненія скорости вѣтра во время одного и того-же измѣренія, измѣненія самой радіаціи во время одного наблюденія. Вслѣдъ затѣмъ разсмотрѣны: вліяніе неодинаковости физическихъ свойствъ обѣихъ пластинокъ, вліяніе присутствія постороннихъ электровозбудительныхъ

силъ въ цѣпи, вліяніе абсолютной температуры въ мѣстахъ спая. Наконецъ послѣднія три главы посвящены вопросу о вліяніи отставанія магнита, движущагося въ успокоителѣ, о распредѣленіи тепла въ освѣщенной мѣдной пластинкѣ и о вліяніи проволокъ, припаянныхъ къ мѣднымъ пластинкамъ, на тепловое состояніе послѣднихъ.

Не имѣя возможности подробнѣе остановиться на этихъ весьма важныхъ и чрезвычайно интересныхъ изслѣдованіяхъ проф. Хвольсона, переходимъ къ краткому описанію устроеннаго имъ прибора для абсолютныхъ измѣреній солнечной теплоты.

§ 37. *Пиргеліометръ профессора Хвольсона.* Приборъ, построенный въ 1892 г. въ Константиновской обсерваторіи въ Павловскѣ, представляетъ видоизмѣненіе описаннаго уже нами актинометра Ангстрема.

На деревянномъ столбѣ устанавливается латунная ось, параллельно оси міра; къ верхнему концу этой оси, и перпендикулярно къ ней, прикрѣпленъ кругъ, который можетъ вращаться вмѣстѣ съ осью. Ниже этого круга неподвижно прикрѣплена къ оси два раза изогнутая подъ прямымъ угломъ металлическая пластинка, черезъ концы которой проходитъ особая ось, могущая вращаться вокругъ самой себя. Перпендикулярно къ этой послѣдней оси прикрѣплены четыре стержня, верхніе концы которыхъ поддерживаютъ два мѣдныхъ кольца. Въ плоскости каждаго кольца, и концентрически съ нимъ, расположена круглая мѣдная пластинка, имѣющая въ діаметрѣ 30 мм. и толщиною въ 5 мм. Обѣ эти пластинки, позолоченныя, за исключеніемъ стороны, обращенной къ солнцу, играютъ въ приборѣ роль двухъ тѣлъ, изъ которыхъ попеременно одно находится въ тѣни, а другое подвергается дѣйствію лучей.

Центры мѣдныхъ пластинокъ соединены между собою припаянною нейзильберовою проволокою. Кромѣ того отъ каждой

пластинки идетъ припаянная сбоку мѣдная проволока, сообщающаяся съ гальванометромъ, установленнымъ въ особомъ домикѣ.

Для затѣненія пластинокъ служатъ два тройные экрана, сдѣланные изъ аллюминіевыхъ кружковъ. Они прикрѣплены къ верхнимъ концамъ двухъ длинныхъ стержней, которые насажены на ось, поддерживающую первые четыре стержня съ упомянутыми мѣдными кольцами. Движеніе стержней съ экранами производится помощью остроумнаго приспособленія механика Фрейберга. Для этой цѣли служатъ четыре снурка, попарно проведенные во внутрь домика, въ которомъ лицо, производящее измѣренія, сидитъ у зрительной трубы и наблюдаетъ за движеніемъ магнита чувствительнаго гальванометра. Помощью этихъ снурковъ можно по произволу измѣнять положеніе экрановъ.

Чувствительный гальванометръ Видемана установленъ внутри деревяннаго домика на особомъ каменномъ столбѣ и, во избѣжаніе быстрыхъ измѣненій температуры, окруженъ картоннымъ ящикомъ, наполненнымъ ватою. Что же касается самого магнита, то онъ заключенъ въ шарообразномъ успокоителѣ.

Для оріентированія прибора служатъ двѣ мѣдныя пластинки, и тѣнь, отбрасываемая верхнею пластинкою, должна совпадать съ нижнею пластинкою.

Такъ какъ часть цѣпи, лежащая внѣ домика, подвержена весьма различнымъ температурнымъ измѣненіямъ, то въ началѣ и въ концѣ каждаго ряда наблюденій необходимо опредѣлить «чувствительность установки», т. е. число дѣленій шкалы, на которое отклоняется магнитъ при разности температуръ спаевъ въ 1°C. Для опредѣленія этой чувствительности служитъ вспомогательный термоэлементъ, совершенно тождественный съ тѣмъ, который находится въ пиргеліометрѣ. Спаи этого термоэлемента, состоящаго также изъ двухъ мѣдныхъ пластинокъ, соединенныхъ нейзильберовою проволокою, погружаются въ двѣ водяныя ванны.

Ванны эти помѣщаются въ двухъ латунныхъ четыреугольныхъ сосудахъ, имѣющихъ двойныя стѣнки, наполненныя золою; каждый сосудъ покрывается двойною крышкою, также заполненною золою. Помощью термометровъ опредѣляется температура воды какъ во внутреннихъ, такъ и во внѣшнихъ сосудахъ. Опредѣленіе чувствительности установки дѣлается слѣдующимъ образомъ.

Заблаговременно выливаютъ опредѣленное количество воды изъ одного внутренняго сосуда и замѣняютъ ее горячею; затѣмъ отсчитываютъ температуры термометровъ, шарики которыхъ, а также спаи термоэлемента, находятся во внутреннихъ сосудахъ; вводятъ термоэлементъ въ цѣпь и опредѣляютъ отклоненіе магнита, соотвѣтствующее разности температуръ спаевъ въ 1°C.

ГЛАВА XI.

Другіе методы абсолютнаго измѣренія солнечной радіаціи.

§ 38. *Методъ Рентгена и Экснера.* Рентгенъ и Экснеръ *) примѣнили принципъ ледяного калориметра Бунзена къ измѣренію солнечной теплоты. Приборъ ихъ состоялъ изъ небольшого стеклянаго колпака, на которомъ замастикована была серебряная вычерненная крышка, подвергавшаяся дѣйствію солнечныхъ лучей. Вода въ колпакѣ предварительно замораживалась, такъ что подъ вліяніемъ поглощенной теплоты ледъ таялъ, и уменьшеніе его объема опредѣлялось движеніемъ ко-

*) Bulletin de l'Académie des Sciences de Vienne, février 1874.
Radau, Actinométrie, p. 73.
Violle: «Rapport sur la question 19 du programmes pour le congrès météorologique du Rome». Ann. de chimie 1879. 5 série.

лонны воды въ горизонтальной калибрированной и градуированной трубкѣ, сообщавшейся съ колоколомъ.

Объемъ 11 граммовъ чистаго льда почти въ точности равенъ 12 куб. сант., а потому уменьшеніе объема на 1 куб. сантим. соотвѣтствуетъ таянію 11 граммовъ льда, для чего требуется 882 калоріи.

Методъ прекрасный, но слой жидкой воды, прилегающій къ нагрѣваемой поверхности, вводитъ значительныя неправильности въ показанія прибора. Движеніе водяной колонны обыкновенно въ началѣ опыта болѣе быстрое, нежели по истеченіи нѣсколькихъ минутъ.

Чтобы исключить вліяніе теплоты окружающаго воздуха, необходимо наблюдать попеременно на солнцѣ и въ тѣни и брать разность полученныхъ результатовъ. Вотъ напр. наблюденіе, сдѣланное авторами въ Страсбургѣ 2 апрѣля 1873 года съ 10 часовъ утра:

Солнце..............	77	76	76.5	дѣленій
Тѣнь	47	48	49	»

Среднія: 76.5 и 48, разность 28.5, что соотвѣтствуетъ 1.387 калорій въ минуту на квадратный сантиметръ.

Шесть послѣдовательныхъ рядовъ наблюденій дали:

1.387; 1.246; 1.110; 1.144; 1.153; 1.207.

На IX съѣздѣ русскихъ естествоиспытателей и врачей въ Москвѣ проф. А. Г. Столѣтовымъ былъ доложенъ отсутствовавшаго по болѣзни В. А. Михельсона мемуаръ: «Примѣненіе ледяного калориметра Бунзена къ актинометріи».

§ 39. *Актинометръ Гирна**). Въ 1884 году Гирнъ опубликовалъ устройство своего весьма остроумнаго актинометра, основаннаго на принципѣ холодильника большой поверхности въ паровой машинѣ: *насыщенный паръ, заключенный въ закры-*

---

*) Comptes Rendus fevr. 1884, p. 324. Meteor. Zeitschrif, 19 p. 548.

томъ пріемникѣ, пріобрѣтаетъ упругость, соотвѣтствующую наименьшей температурѣ стѣнокъ оболочки. Приборъ состоитъ изъ выставляемаго на солнце сосуда, а также змѣевика и пріемника жидкости, находящихся въ тѣни. Если внутри прибора нѣтъ воздуха, а только жидкость и ея пары, то, при дѣйствіи солнечныхъ лучей, поглощаемая стѣнками теплота вмѣсто того, чтобы повышать температуру жидкости, приведетъ ее въ кипѣніе, при чемъ выдѣляющійся паръ будетъ соотвѣтствовать наинизшей температурѣ прибора, т. е. температурѣ холодильника, поставленнаго въ тѣни. Если поверхность послѣдняго достаточно велика, такъ что приносимая непрерывно теплота будетъ быстро передаваться окружающему воздуху, то температура всего прибора скоро сдѣлается стаціонарною и только весьма мало будетъ превышать температуру термометра, поставленнаго въ тѣни, подлѣ холодильника.

Количество теплоты, получаемой въ единицу времени стѣнками сосуда, почти строго пропорціонально количеству сгущенной въ холодильникѣ жидкости также въ единицу времени; при помощи же формулъ Реньо, дающихъ количество всей теплоты испаренія жидкостей при постоянномъ давленіи, можно вполнѣ точно, безъ всякихъ поправокъ, опредѣлить солнечную теплоту, поглощенную извѣстною поверхностью.

Пусть v объемъ жидкости, сгущающейся во время T, и Δ ея плотность при температурѣ 0°; Q—количество солнечной теплоты, поглощенной въ единицу времени единицею поверхности; тогда $\frac{v\Delta q}{ST}=Q+c$, гдѣ q—вся теплота испаренія жидкости и c—поправка относительно количества теплоты, которое приборъ теряетъ или пріобрѣтаетъ вслѣдствіе разности температуры сосуда и окружающаго воздуха.

Въ приборѣ Гирна сосудъ состоитъ изъ мѣдной трубки, направленной параллельно земной оси, такъ чтобы въ теченіе дня солнечные лучи падали на зачерненную ея поверхность

почти подъ однимъ и тѣмъ же угломъ. Змѣевикъ состоитъ изъ мѣдной трубки, свернутой въ спираль, коей поверхность въ 25.5 раза больше поверхности сосуда. Къ нижней оконечности змѣевика придѣлана хрустальная трубка, раздѣленная на равные объемы.

Что же касается выбора жидкости, то Гирнъ остановился на сѣроуглеродѣ, который отличается своею летучестью, между тѣмъ эфиръ легко измѣняется съ теченіемъ времени, а алкоголь, какъ показали опыты Реньо, испаряется весьма неправильно. Вода въ свою очередь представляетъ неудобства, такъ какъ зимою замерзаніе ея препятствовало бы правильному ходу прибора, и кромѣ того теплота испаренія воды весьма велика.

ГЛАВА XII.

Приборы для актинометрическихъ наблюденій вообще.

§ 40. Какъ было уже замѣчено, Крова предложилъ удержать названіе пиргеліометра только для приборовъ, служащихъ къ измѣренію солнечной радіаціи въ абсолютныхъ единицахъ; тѣ же приборы, которые даютъ лишь относительную мѣру теплового напряженія лучей, называть актинометрами.

Но очевидно, всякій актинометръ можетъ служить для абсолютныхъ измѣреній, если путемъ сравненія результатовъ одновременныхъ наблюденій, произведенныхъ этимъ приборомъ и какимъ либо пиргеліометромъ, опредѣлить коэффиціентъ пропорціональности.

Прежде, чѣмъ мы перейдемъ къ относительнымъ актинометрамъ, разсмотримъ еще нѣсколько переходныхъ приборовъ,

которые трудно отнести къ пиргеліометрамъ, или же исключительно къ относительнымъ актинометрамъ.

Уже Пулье въ 1830 году помѣщалъ въ центрѣ двойной оболочки, имѣющей температуру 0° и снабженной отверстіями, шарикъ термометра, на который направлялись солнечные лучи.

Точно также и Віолль*) сперва пользовался своимъ приборомъ лишь для относительныхъ измѣреній. Такъ въ 1874 году онъ опредѣлялъ въ Греноблѣ стаціонарные избытки температуры вычерненнаго термометра относительно температуры оболочки. Къ приборамъ переходного типа мы отнесемъ тѣ, помощью которыхъ въ 60-хъ годахъ производились наблюденія Эриксономъ въ Америкѣ, Ватерстономъ въ Индіи, Секки въ Италіи и Соре въ Швейцаріи.

§ 41. *Приборъ Эриксона***). Верхняя часть прибора Эриксона состояла изъ бронзоваго цилиндра, въ крышкѣ котораго сдѣлано было три круглыхъ отверстія для прохода солнечныхъ лучей; всѣ эти три отверстія закрыты были тонкими тщательно отполированными стеклянными пластинками. Нижнюю часть прибора составляла прозрачная полусфера, въ центрѣ которой помѣщался шарикъ ртутнаго термометра, вставленнаго черезъ боковую стѣнку. Приборъ окружался короткимъ параболическимъ рефлекторомъ, фокусъ котораго совпадалъ съ центромъ шарика термометра. Между двойными стѣнками цилиндрической оболочки циркулировалъ водяной токъ постоянной температуры. При помощи особой системы ширмъ солнечные лучи могли быть направляемы какъ на параболическій рефлекторъ, такъ и на три упомянутыя отверстія въ верхней крышкѣ цилиндрической коробки.

Такимъ образомъ верхняя половина термометрическаго шарика нагрѣвалась лучами, непосредственно вступающими черезъ

---

*) Comptes Rendus 1875.

**) Nature 34, p. 249. Zeitschrift für Instrumentenkunde. 1886. p. 356.

среднее, самое бóльшее, отверстіе, а нижняя его половина находилась подъ вліяніемъ лучей, отражаемыхъ на него параболическимъ рефлекторомъ, и кромѣ того лучей, проходящихъ черезъ два малыя боковыя отверстія и также отражаемыхъ на шарикъ двумя зеркалами, находящимися на днѣ сферической камеры. Поверхности этихъ послѣднихъ зеркалъ настолько превосходили поверхность большого круга термометрическаго шарика, чтобы вознаграждалась потеря лучистой энергіи, происходящая вслѣдствіе несовершеннаго отраженія на зеркалахъ и поглощенія ея кристаллическими пластинками. Вслѣдствіе употребленія рефлектора тепловое дѣйствіе лучей на шарикъ термометра увеличивалось приблизительно въ десять разъ, т. е. доходило до 600°F.

§ 42. *Приборъ Секки.* Приборъ Секки*) состоялъ изъ двухъ концентрическихъ цилиндровъ, между которыми наливалась вода или масло постоянной температуры. Черезъ это кольцеобразное пространство проходитъ термометръ, шарикъ котораго находится на оси цилиндра. На термометрическій шарикъ падаютъ солнечные лучи, пропускаемые діафрагмою, отверстіе которой нѣсколько большаго діаметра, чѣмъ діаметръ шарика. Нижняя часть прибора закрывается толстымъ стекломъ, которое даетъ возможность оріентировать приборъ такимъ образомъ, чтобы весь шарикъ термометра подвергался дѣйствію лучей. Внутреннія стѣнки цилиндра и термометрическій шарикъ покрыты равномѣрнымъ слоемъ сажи.

Другой термометръ долженъ показывать температуру кольцеобразнаго пространства, а слѣдовательно (по мнѣнію Секки) и той средины, въ которой находится термометрическій шарикъ, подвергаемый дѣйствію солнечныхъ лучей.

Если пропустить солнечные лучи, то разность температуръ обоихъ термометровъ мало по малу увеличивается и наконецъ,

---

*) Secchi: Le soleil, seconde partie, p. 234. 1877.

по истеченіи нѣкотораго времени, дѣлается постоянною. Тогда отмѣчаются показанія обоихъ термометровъ, разность которыхъ и служитъ мѣрою напряженія солнечной радіаціи.

Описанный приборъ служилъ Секки для опредѣленія температуры солнца*), которую онъ вычислялъ по формулѣ $T = \frac{\Sigma}{S}(t—t')$, гдѣ Σ поверхность оболочки, окружающей термометръ, S—видимая поверхность солнца. Формула эта выведена на основаніи того соображенія, что при стаціонарномъ состояніи термометра разности температуръ обратно пропорціональны лучеиспускающимъ поверхностямъ солнца и оболочки, заключающей термометръ.

Приборомъ подобной же конструкціи пользовался и Ватерстонъ**) во время своихъ наблюденій въ Индіи.

Эриксонъ, разбирая критически приборъ Секки, отмѣчаетъ слѣдующіе его недостатки.

1. Температура внутренняго пространства не можетъ точно опредѣляться однимъ только термометромъ; по мнѣнію Эриксона, для этого необходимъ болѣе точный способъ опредѣленія этой температуры. Въ своемъ приборѣ Эриксонъ заставлялъ циркулировать водяной токъ постоянной температуры; также поступаетъ Соре и Віолль, но Секки считаетъ эту предосторожность излишнею, и просто наполнялъ промежуточное пространство водою или масломъ опредѣленной температуры.

2. Термометръ, подвергаемый дѣйствію солнечныхъ лучей, получаетъ теплоту только одною своею стороною, а потому не можетъ прійти въ стаціонарное состояніе во всѣхъ своихъ частяхъ, вслѣдствіе чего получаются вообще несравнимые результаты.

---

*) См. стр. 64.

**) John James Waterston: on account of experiments on solar radiation. Astron. Soc. Month. Not. t. XXIII, p. 60, 67. 1867.
Phil. Magaz. t. XXIII. 1862. p. 497, 511.

Но Секки полагаетъ, что обстоятельство это можетъ служить источникомъ ошибокъ лишь въ томъ случаѣ, когда на производство наблюденій не отводится достаточно времени. Если же приборъ остается довольно долго на солнцѣ, особенно при употребленіи діафрагмы, которая защищаетъ термометръ отъ вліянія постороннихъ источниковъ, то результаты получаются довольно точные. Аномаліи, о которыхъ говоритъ Эриксонъ, не были замѣчены, по словамъ Секки, ни имъ самимъ, ни Соре, хотя употреблялись различные термометры.

Производя наблюденія помощью своего прибора, Секки пришелъ къ слѣдующимъ выводамъ.

1. Во время наблюденій въ Римѣ, на высотѣ 52 метровъ надъ уровнемъ моря, когда барометрическое давленіе колебалось около 758 мм., разность обоихъ термометровъ въ большинствѣ случаевъ была равна 12°.06; въ тѣ же дни, когда небо было особенно чисто, она поднималась до 14°.

2. Эта разность, по выводамъ Секки, термометрическихъ показаній остается постоянною, какова бы ни была температура внутренняго пространства, такъ что для $t'=0$, $t=12°.06$, а для $t'=60$, $t=72°.06$.

Этотъ удивительный результатъ былъ провѣренъ Секки съ большою тщательностью отъ 0° до 64°. По словамъ Ватерстона, который пропускалъ нагрѣтый воздухъ въ промежуточное пространство своего прибора, законъ этотъ справедливъ до 220°.

Между тѣмъ Віолль *) увѣряетъ, что онъ на своемъ приборѣ не могъ обнаружить постоянства температурнаго избытка, который, согласно его выводамъ, уменьшается съ повышеніемъ температуры внутренняго пространства. Такъ, съ измѣненіемъ температуры оболочки отъ 99°.35 до 136°.50, Віолль нашелъ, что температурные избытки, подъ вліяніемъ солнечныхъ лучей, уменьшались съ 10°.75 до 8°.22.

---

*) Ann. d. phys. et d. chimie, série 5, t. X, p. 347—352.

§ 43. *Приборъ Соре.* Съ 1867 по 1869 г. Соре*) производилъ актинометрическія наблюденія въ Женевѣ и на различныхъ Альпійскихъ вершинахъ, при помощи приборовъ, аналогичныхъ предыдущимъ.

Малый переносный актинометръ Соре состоялъ изъ латунной трубки 35 мм. въ діаметрѣ и 0.20 метра длиною. Трубка эта внутри была вычернена и окружена концентрическою жестяною оболочкою, діаметръ которой равнялся 90 мм. Промежуточное пространство между двумя цилиндрами наполнялось кусками льда или же снѣгомъ. Открытый конецъ снабженъ былъ діафрагмою, круглое отверстіе которой имѣло 20 мм. въ діаметрѣ.

Приборъ поддерживался горизонтальною осью, составлявшей прямой уголъ съ осью цилиндра. Эта горизонтальная ось содержала въ себѣ латунную трубку, черезъ которую проходилъ стержень наблюдаемаго термометра. Находящійся на оси вычерненной трубки сферическій резервуаръ этого термометра, 8 мм. въ діаметрѣ, былъ сперва покрытъ смолою, а потомъ вычерненъ на пламени терпентиннаго масла.

Большой актинометръ Соре состоялъ изъ нѣсколькихъ параллельныхъ трубокъ, снабженныхъ термометрами. Трубки эти помѣщались въ оболочкѣ, черезъ которую пропускался токъ воды.

Когда наблюденія производились на различныхъ высотахъ, то дѣлалась поправка относительно неравенства скоростей охлажденія отъ соприкосновенія съ воздухомъ различной упругости.

Разрѣжая въ трубкѣ, запертой стеклянными пластинками, воздухъ, Соре нашелъ слѣдующее выраженіе для этой поправки:

---

*) Soret: «Sur l'intensité de la radiation solaire». Comptes Rendus, t. LXV, p. 526. 1867, t. LXVI. 1868, p. 810.

Comptes Rendus de la première session de l'Association française pour l'avancement des sciences. 1872.

$0.35 \frac{760-B}{1000} T$, гдѣ T избытокъ температуры, наблюдаемый при барометрическомъ давленіи B.

Такъ 21 іюля 1867 г. въ 11 ч. 30′ Соре нашелъ на вершинѣ Монъ-Блана избытокъ температуры въ $21^{0}.16$; приведенный къ 760 мм., этотъ избытокъ оказался равнымъ $18^{0}.66$.

§ 44. *Актинометръ Крова.* Весьма легкій и удобный для переноски актинометръ Крова*) состоитъ изъ большого термометра съ чистымъ алкоголемъ, при чемъ сферическій резервуаръ находится въ центрѣ шаровидной оболочки, состоящей изъ двухъ полушарій. Поверхность термометрическаго шарика предварительно покрыта серебромъ по способу Мартена, а потомъ тонкимъ слоемъ шероховатой мѣди и платиновой черни по вышеизложенному методу Крова. Противоположный конецъ термометрической трубки имѣетъ расширеніе, содержащее отчасти воздухъ. При дѣйствіи солнечныхъ лучей термометрическая жидкость расширяется, при чемъ отсчеты дѣлаются помощью ртутнаго индекса. Для этого въ резервуарѣ находится нѣсколько капель ртути, и если, снявъ верхнюю часть BE, подвергнуть шарикъ термометра дѣйствію солнечныхъ лучей, то въ трубку выходитъ ртутный индексъ произвольной длины; при поднятіи противоположнаго конца трубки лишняя часть ртути обратно падаетъ въ шарикъ, и въ такомъ видѣ приборъ готовъ для наблюденій.

Опытъ показалъ намъ, что примѣненіе двояковыпуклаго стекла, помощью котораго концентрируются на шарикѣ термометра солнечные лучи, какъ рекомендуетъ проф. Хвольсонъ, весьма удобно. Такимъ способомъ весьма легко добывается ртутный индексъ, при чемъ не требуется сниманія передней части оболочки.

Если при продолжительныхъ наблюденіяхъ индексъ приближается къ воронкѣ, можно вывести новый индексъ, и такимъ образомъ какъ угодно долго продолжать наблюденія.

*) Annales de chimie et de physique, t. XI. 1877.

Около полудня, особенно во время лѣтняго солнцестоянія, при значительной высотѣ солнца, ртуть можетъ вся выйти изъ резервуара. Тогда прежде, нежели она наполнитъ всю трубку, приборъ поворачивается шарикомъ внизъ, а воронка съ алкоголемъ направляется на солнце. Отъ дѣйствія теплоты входитъ колонка алкоголя въ термометрическую трубку, которую потомъ снова поворачиваютъ шарикомъ къ солнцу, и такимъ образомъ въ ртути получается индексъ изъ алкоголя.

Словомъ, тѣмъ или другимъ способомъ, смотря по обстоятельствамъ, всегда возможно производить наблюденія въ теченіе цѣлаго дня при помощи одного и того же прибора.

Трубка термометра закрѣплена въ оправѣ S, снабженной продольнымъ прорѣзомъ, дающимъ возможность видѣть шкалу, нанесенную на самой стекляной трубкѣ.

Сферическая латунная оболочка, внутри вычернена, а снаружи полирована и снабжена на продолженіи оси термометрической трубки деревяннымъ цилиндромъ F(см. фиг. 4). Въ этомъ цилиндрѣ помѣщены четыре діаграфмы, отверстія которыхъ, по мѣрѣ удаленія отъ шарика термометра, послѣдовательно увеличиваются. Къ цилиндру прикрѣпленъ двойной, хорошо отполированный, экранъ E съ круглыми отверстіями, для прохода солнечныхъ лучей.

Такое устройство регулируетъ охлажденіе прибора. при чемъ ширина отверстій такъ соразмѣрена, чтобы на шарикъ термометра не падали слишкомъ наклонные лучи, въ виду того, что отражательная способность поверхностей замѣтно возрастаетъ съ увеличеніемъ угла паденія, въ особенности для длинныхъ волнъ. Когда же требуется защитить приборъ отъ дѣйствія солнечныхъ лучей, то отверстіе это закрывается двойнымъ экраномъ C. Перемѣщеніе индекса наблюдается отъ минуты до минуты по истинному солнечному времени. При этомъ Крова замѣтилъ, что если приборъ защитить отъ дѣйствія солнечныхъ лучей экраномъ, то ходъ индекса дѣлается

равномѣрнымъ только спустя нѣкоторое время, почти въ моментъ наступленія равновѣсія его температуры и окружающаго воздуха. Если же удалить экранъ и пропустить солнечные лучи на термометрическій шарикъ, то индексъ не приходитъ тотчасъ въ движеніе, но нѣкоторое время падающая теплота употребляется на нагрѣваніе металлической оболочки и стекла термометра, а также на легкій термометрическій избытокъ, необходимый для равномѣрнаго распространенія теплоты. При этомъ ходъ индекса сначала ускорительный, а потомъ дѣлается равномѣрнымъ.

Крова, испытавъ различные способы наблюденій, остановился на слѣдующемъ, который требуетъ всего только пяти минутъ и приводитъ къ наиболѣе точнымъ результатамъ. Какъ только приборъ приметъ температуру окружающаго воздуха, наблюдается ходъ индекса въ теченіе первой минуты. Въ концѣ первой минуты отверстіе открывается, но перемѣщеніе индекса на солнцѣ начинаютъ наблюдать лишь только съ наступленіемъ третьей минуты, въ концѣ которой отверстіе вновь закрывается. Наконецъ, пропустивъ четвертую минуту, опредѣляютъ охлажденіе прибора послѣ инсоляціи въ теченіе пятой минуты. Если наблюденія сдѣланы при благопріятныхъ условіяхъ, то ходъ индекса до и послѣ инсоляціи равномѣрный, хотя охлажденіе, наблюдаемое послѣ дѣйствія солнечныхъ лучей, вслѣдствіе повышенія температуры, нѣсколько быстрѣе, чѣмъ въ первую минуту.

Крова настаиваетъ на точномъ выполненіи всѣхъ указанныхъ имъ предосторожностей, такъ какъ, по его мнѣнію, только при этомъ условіи могутъ быть гарантированы получаемые динамическимъ методомъ результаты отъ тѣхъ ошибокъ, которыя неизбѣжны при употребленіи актинометра Ватерстона и пиргеліометра Пулье.

«Форбсъ», говоритъ Крова, «во время своихъ изслѣдованій не избѣжалъ этой ошибки, наблюдая актинометръ Гершеля въ теченіе трехъ минутъ: первой и третьей въ тѣни, второй—

на солнцѣ*). Гершель въ своихъ инструкціяхъ рекомендуетъ наблюдать на солнцѣ только тридцать секундъ и увеличивать найденное число, для продолжительности въ одну минуту. Форбсъ справедливо замѣчаетъ, что множитель, на который нужно умножить наблюденную въ 30 секундъ величину, чтобы привести къ продолжительности цѣлой минуты, въ дѣйствительности больше, чѣмъ 2. Въ своей работѣ «Reduction à un intervalle d'une minute»**) онъ цитируетъ опыты, которые произвелъ Кемцъ со своимъ актинометромъ и вмѣстѣ съ нимъ беретъ за множитель 2.224, чтобы свести къ продолжительности одной минуты наблюденія, сдѣланныя въ 30 секундъ, когда это было необходимо. Подобный методъ, мнѣ кажется, имѣетъ недостатокъ въ точности, ибо ускореніе нагрѣванія во время первыхъ секундъ есть величина, измѣняющаяся съ напряженіемъ радіаціи».

При наблюденіяхъ помощью актинометра Крова необходимо имѣть въ виду слѣдующія поправки.

1. Перемѣщеніе индекса, найденное въ третью минуту, при дѣйствіи солнечныхъ лучей, нужно увеличить или уменьшить на среднее изъ охлажденій или нагрѣваній, наблюденныхъ до и послѣ инсоляціи.

2. Поперечныя сѣченія термометрической трубки вообще не одинаковы, а потому нужно пользоваться таблицами поправокъ, чтобы привести ходъ индекса къ тому, какой наблюдался бы, если бы діаметръ трубки былъ всюду одинъ и тотъ же. Гораздо удобнѣе въ этомъ случаѣ пользоваться термометрическими трубками, раздѣленными на части равной емкости.

3. Удѣльная теплота и коэффиціентъ расширенія алкоголя съ повышеніемъ температуры увеличиваются, и такъ какъ отъ увеличенія коэффиціента расширенія показанія актинометра увеличиваются, а отъ увеличенія теплоемкости алкоголя происхо-

*) Philosophical Transactions, part. II, p. 246.

**) Kaemtz: Lehrbuch der Meteorologie, t. III, p. 21.

дитъ обратное явленіе, то эти двѣ причины ошибокъ, дѣйствуя въ противоположныя стороны, могутъ компенсироваться.

Въ самомъ дѣлѣ, Реньо выразилъ удѣльную теплоту алкоголя эмпирическою формулою:

$$C = a + 2bt + 3ct^2, \text{ гдѣ } \log a = \bar{1},7384166$$
$$\log b = \bar{3},0499296$$
$$\log c = \bar{6},3436027.$$

Отсюда для удѣльной теплоты алкоголя получаются слѣдующія числа:

0°	$+10^\circ$	$+20^\circ$	$+30^\circ$	$+40^\circ$
0.5475;	0.5706;	0.5949;	0.6207;	0.6477.

Чтобы привести показанія актинометра къ температурѣ 0°, нужно умножить ихъ соотвѣтственно на отношенія удѣльной теплоты алкоголя при наблюдаемой температурѣ къ удѣльной теплотѣ при 0°. Эти множители слѣдующіе:

0°	$+10^\circ$	$+20^\circ$	$+30^\circ$	$+40^\circ$
1;	1.042;	1.086;	1.134;	1.183.

Что же касается объема алкоголя при различныхъ температурахъ, то онъ выражается слѣдующею эмпирическою формулою Пьерра:

$$V = 1 + at + bt^2 + ct^3, \text{ при чемъ}$$
$$a = 0.0010486301$$
$$b = 0.0000017510$$
$$c = 0.0000000134.$$

Коэффиціентъ кубическаго расширенія кристалла, изъ котораго дѣлаются термометрическіе резервуары, $k = 0.0000233$. Тогда видимый объемъ алкоголя при температурѣ t:

$V = 1 + (a - k)t + bt^2 + ct^3$, и его дѣйствительный коэффиціентъ расширенія при температурѣ t:

$\frac{dV}{dt} = a - k + 2bt + 3ct^2$. Величина этого коэффиціента расширенія при различныхъ температурахъ слѣдующая:

0°	$+10^\circ$	$+20^\circ$	$+30^\circ$	$+40^\circ$
0.001025330;	0.001064370;	0.001111450;	0.001166570;	0.001229730.

Чтобы свести теперь наблюденныя показанія къ тому случаю, когда начальная температура актинометра равна 0°, нужно ихъ умножить на отношенія коэффиціента расширенія алкоголя при температурѣ 0° къ коэффиціенту при наблюденной температурѣ.

Эти множители при температурѣ:

0°	+10°	+20°	+30°	+40°
1;	0.9633;	0.9225;	0.8789;	0.8338.

Если въ одно и тоже время принять во вниманіе какъ измѣненія расширенія, такъ и удѣльной теплоты, то для поправокъ нужно взять произведенія соотвѣтственныхъ коэффиціентовъ, которыя будутъ:

0°	+10°	+20°	+30°	+40°
1.0000;	1.0040;	1.0020;	0.9967;	0.9864.

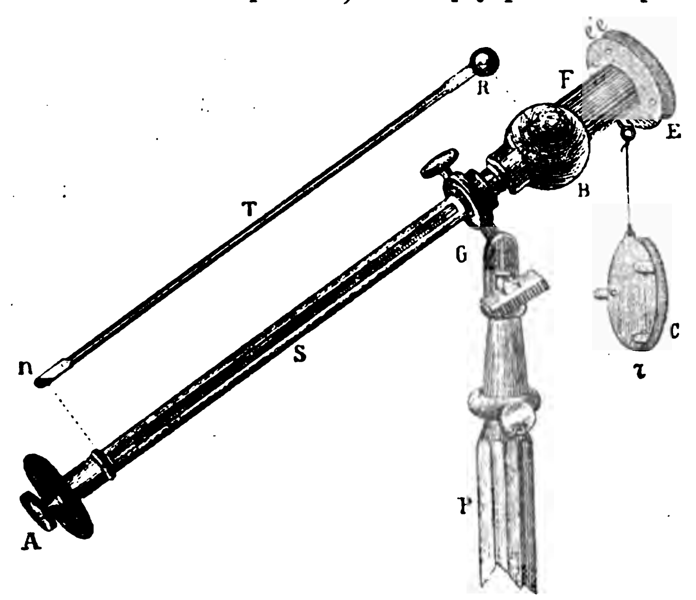
Такимъ образомъ поправка можетъ быть абсолютно пренебрегаема между 0° и 30°; выше 30° ее уже нужно принимать во вниманіе, при чемъ вычисляться такія поправки могутъ интерполированіемъ или же построеніемъ кривой этихъ коэффиціентовъ.

Для опредѣленія первоначальной температуры шарика въ отверстіе актинометра вводится малый термометръ и оставляется тамъ до того времени, пока приборъ не приметъ температуры окружающаго воздуха.

4. Наконецъ Крова упоминаетъ еще о поправкѣ относительно разстоянія земли отъ солнца. Это разстояніе измѣняется, какъ извѣстно, по временамъ года, и для полученія сравнимыхъ результатовъ, наблюдаемую радіацію приводятъ къ той, какая получалась бы, если бы разстояніе солнца отъ земли оставалось постоянно однимъ и тѣмъ же, напримѣръ, какимъ оно бываетъ во время весенняго равноденствія. Достаточно для этого умножить полученные результаты на отношенія квадрата радіуса вектора въ день наблюденія къ квадрату этого радіуса

во время весенняго равноденствія. Эти величины даются въ «Connaissance des Temps».

§ 45. *Наиболѣе упрощенный актинометръ Крова.* При помощи описаннаго нами переноснаго актинометра Крова произвелъ цѣлый рядъ наблюденій въ 1875 г. Имѣя цѣлью сдѣлать свой приборъ по возможности простымъ и удобнымъ для переноски, онъ еще болѣе въ настоящее время уменьшаетъ размѣры своихъ актинометровъ, устраиваемыхъ въ мастерской Ducretet въ Парижѣ *). Резервуаръ R термометра,



Фиг. 4.

сначала покрытый мѣдью, а потомъ платиновою чернью, въ діаметрѣ имѣетъ не болѣе 18 миллим., а діаметръ сферы 55 мм.; вся же длина прибора не превышаетъ 50 сантиметровъ. Солнечные лучи пропускаются черезъ круглое отверстіе, 10 мм. въ діаметрѣ, сдѣланное въ двойномъ экранѣ E изъ никкелированной латуни; экранъ этотъ изолированъ каучуковою оправою.

---

*) Annales de chimie et de physique, t. XIX. Série 5. 1880.

Такимъ образомъ сѣченіе свѣтового пучка имѣетъ меньшій діаметръ, нежели термометрическій шарикъ, чему, какъ мы видѣли, Крова придаетъ особенное значеніе.

Когда требуется защитить приборъ отъ дѣйствія солнечныхъ лучей, то накладывается еще никкелированный двойной экранъ С. Наконецъ латунный вычерненный экранъ А, нормально прикрѣпленный къ оконечности трубки, служитъ для оріентированія прибора. Для этого нужно такъ установить приборъ, чтобы тѣнь экрана Е совпадала съ кругомъ А. Въ этомъ случаѣ отверстіе прибора прямо будетъ направлено къ центру солнца. Экранами этими въ тоже время защищается отъ дѣйствія солнечныхъ лучей сфера В, имѣющая нѣсколько меньшій діаметръ.

Для производства наблюденій приборъ насаживается на треножникъ Р и помощью шарового шарнира G устанавливается такимъ образомъ, чтобы термометрическая трубка была параллельна солнечнымъ лучамъ. Для переноски приборъ укладывается въ ящикъ, въ которомъ между прочимъ находятся:

1. Стеклянная ванна, наполненная дистиллированною водою; эта ванна накладывается на отверстіе актинометра, для измѣренія степени поглощенія солнечной радіаціи слоемъ воды, толщиною въ 0.01 м. *).

2. Два пращевыхъ термометра, посредствомъ которыхъ во время актинометрическихъ наблюденій можно опредѣлять температуру и влажность воздуха.

Профессоръ Хвольсонъ **) указываетъ на слѣдующіе недостатки прибора Крова.

1. Послѣ цѣлаго ряда наблюденій, какъ это замѣчалось въ Павловскѣ, ртутный указатель дѣлается мутнымъ и распадается на большое число капель.

---

*) Приборъ Крова, которымъ мы пользовались, не былъ снабженъ означенною ванною.

**) О. Хвольсонъ. О совр. сост. актином. стр. 139.

2. Ртутная капля въ началѣ ряда наблюденій, за исключеніемъ индекса, находится въ термометрическомъ шарикѣ, а къ концу наблюденій цѣликомъ переходитъ въ резервуаръ. Это обстоятельство должно имѣть вліяніе какъ на теплоемкость, такъ и на коэффиціентъ расширенія содержимаго шарика. Когда шарикъ содержитъ только алкоголь, теплоемкость содержимаго шарика $C_1 = 0.8 \times 0.505 = 0.4040$, гдѣ 0.8—плотность алкоголя, 0.505—его удѣльная теплота.

Когда же вся ртуть находится въ шарикѣ, теплоемкость его $C_2 = {}^{14}/_{15} \times 0.8 \times 0.505 + {}^{1}/_{15} \times 13.5 \times 0.032 = 0.4054$, если принять, что объемъ ртутной капли составляетъ $^{1}/_{15}$ объема шарика и что 0.032 и 13.5—удѣльная теплота и плотность ртути. Разность въ обоихъ случаяхъ составляетъ менѣе $^{1}/_{2}\%$. Въ тоже время коэффиціентъ расширенія въ первомъ случаѣ содержимаго шарика $\alpha_1 = 0.001$, а во второмъ $\alpha_2 = {}^{14}/_{15} \times 0{,}001 + {}^{1}/_{15} \times 0.00018 = 0.000945$; разность составляетъ $5^{1}/_{2}\%$.

Когда ртуть находится въ шарикѣ, то содержимое его имѣетъ меньшую теплоемкость и бóльшій коэффиціентъ расширенія, т. е. обѣ причины дѣйствуютъ въ одномъ направленіи, и такимъ образомъ значеніе одного дѣленія шкалы можетъ измѣняться до 6%.

3. Непосредственныя ошибки наблюденій легко могутъ суммироваться до нѣсколькихъ процентовъ искомой величины, вслѣдствіе необходимости комбинировать при всякомъ наблюденіи 6 различныхъ отсчетовъ.

4. Температура оболочки, окружающей термометрическій шарикъ, во время наблюденій не остается постоянною. Это обстоятельство должно имѣть большое вліяніе на происходящія въ термометрическомъ шарикѣ тепловыя явленія, которыя совершаются въ тѣсныхъ предѣлахъ отъ 1° до 2°. Хотя эта оболочка и защищена отъ непосредственнаго дѣйствія солнечныхъ лучей, но за то свободно подвергается охлаждающему вліянію вѣтра и лучеиспусканію сосѣднихъ тѣлъ.

5. Коэффиціентъ охлажденія m не можетъ оставаться въ теченіе долгаго времени постояннымъ. Для актинометра Віолля проф. Хвольсономъ найдено было постоянное пониженіе величины m въ теченіе каждаго дня; такое же пониженіе (около 15%) величины m въ теченіе почти каждаго дня замѣчается и въ наблюденіяхъ Лангле. Подобное же явленіе должно происходить и въ актинометрѣ Крова, вслѣдствіе измѣненій слоя сажи, который ночью насыщается водяными парами, а во время наблюденій высыхаетъ.

6. Въ приборѣ Крова слишкомъ велико, въ сравненіи съ актинометромъ Віолля, запаздываніе въ теченіе первой минуты.

«Это показываетъ», говоритъ проф. Хвольсонъ, «что тепловой потокъ довольно медленно проходитъ черезъ слой платины».

§ 46. *Относительные актинометры Араго-Дави и Гершеля.* Во Франціи и въ Англіи, а также въ послѣднее время въ Россіи, весьма часто для относительныхъ измѣреній солнечной энергіи употребляются приборы, основанные на свойствахъ радіаціоннаго термометра.

Англійскій актинометръ считается изобрѣтеніемъ Гершеля *).

Онъ состоитъ изъ ртутнаго термометра, вычерненный шарикъ котораго помѣщенъ въ центрѣ сферической стеклянной оболочки, съ разрѣженнымъ воздухомъ. За мѣру солнечной радіаціи принимается разность показаній этого термометра, подвергаемаго дѣйствію солнечныхъ лучей, и другого, поставленнаго въ тѣни.

Между инструментами, оставшимися послѣ Араго **) въ коллекціяхъ Парижской обсерваторіи, найденъ былъ приборъ съ отмѣткою: «Bunten 1844». Это были два совершенно одинаковые термометра: одинъ съ вычерненнымъ шарикомъ, другой съ

*) Quarterly Journal of the Meteorolog. Society, numero d'avril 1874. London.

**) Violle. Ann. de Chimie 5 série. 1879. Bull. de l'observ. met. de Montsouris, t. II, 1873, p. 80.

безцвѣтнымъ. Каждый шарикъ защищенъ былъ стеклянной оболочкой съ разрѣженнымъ воздухомъ. При организаціи обсерваторіи въ Монсури Сентъ-Клеръ-Девилль реставрировалъ приборъ Араго, при чемъ увеличилъ діаметръ баллоновъ до 10 сантиметровъ, чтобы придать болѣе правильности лучеиспусканію. При помощи такихъ приборовъ Сентъ-Клеръ-Девилль предпринялъ ежедневныя наблюденія. Мари-Дави, нынѣшній директоръ Монсури, уменьшилъ діаметры баллоновъ до 4 сантиметровъ и для сравнимости свелъ ихъ показанія на «актинометрическіе градусы».

Въ настоящее время приборы Монсури устраиваются такимъ образомъ: два термометра, съ чернымъ и блестящимъ шариками, одинаковой величины, окружаются пустыми стеклянными трубками съ баллонами 4 сантиметровъ въ діаметрѣ, и укрѣпляются шариками кверху такимъ образомъ, что своимъ расположеніемъ напоминаютъ букву V. Разность показаній обоихъ термометровъ даетъ величину радіаціи въ данный моментъ, при чемъ предполагается, что безцвѣтный термометръ показываетъ температуру оболочки чернаго шарика, что весьма сомнительно. Совершенно не вѣрно также допущеніе, что стеклянная оболочка пропускаетъ на черный шарикъ постоянно одну и туже часть солнечной радіаціи. Составъ солнечной радіаціи не остается всегда однимъ и тѣмъ же, стеклянная же оболочка неодинаково прозрачна для различнаго рода лучей.

Секки говоритъ *), что показанія этихъ приборовъ вообще разнорѣчивы. Такъ, напримѣръ, по его наблюденіямъ лѣтомъ обыкновенный термометръ съ вычерненнымъ шарикомъ показывалъ въ полдень 40°—42°; такой же вычерненный термометръ, но окруженный стеклянною оболочкою, поднимался въ тоже время до 54°—57°. Въ зимнее время первый термометръ показывалъ 10°—14°, а второй 28°—32°.

---

*) Comptes Rendus t. LXXIV, p. 26.

Секки сомнѣвается, чтобы эти термометры могли измѣрять радіацію, и по слѣдующимъ причинамъ:

1. Внутренняя поверхность стеклянной оболочки дѣйствуетъ, какъ вогнутое зеркало, и отражаетъ нѣкоторую часть тепловыхъ лучей, испускаемыхъ шарикомъ термометра, обратно къ послѣднему.

2. Стекло оболочки, не будучи совершенно прозрачнымъ, мало по малу нагрѣвается и такимъ образомъ само дѣлается источникомъ довольно значительной радіаціи; поэтому, хотя оболочка и предохраняетъ термометръ отъ воздушныхъ теченій, но съ другой стороны она вводитъ пертурбаціи, болѣе серіозныя и болѣе трудныя для вычисленій.

Покойный профессоръ Колли*) говоритъ, что изъ двухъ актинометровъ Араго, принадлежащихъ Петровской Академіи, «одинъ давалъ показанія ни съ чѣмъ несообразныя, но, по счастливой случайности, показанія другого были довольно близки къ пропорціональности съ показаніями актинометра Ришара, почему оказалось возможнымъ имъ воспользоваться».

Франкландъ**) указываетъ на то, что показанія вычерненнаго термометра въ сильной степени зависятъ отъ лучеиспусканія сосѣднихъ тѣлъ вообще, и въ частности отъ подставки, непосредственно находящейся подъ приборомъ.

Съ измѣненіемъ рода предмета, надъ которымъ находится термометръ, онъ наблюдалъ разности, доходившія до 25°!

Тоже самое замѣчалось при опредѣленіи температуры тѣни. Подъ большимъ деревомъ Франкландъ наблюдалъ 19°.5, въ тоже время подъ бѣлымъ зонтикомъ 25°, подъ узкою бѣлою лентою 35° и подъ узкою лентою изъ фольги 45.2°!

Можно было бы привести еще мнѣнія многихъ ученыхъ, отвергающихъ всякое значеніе наблюденій помощью радіаціонныхъ приборовъ.

---

*) Актином. набл. при метеор. обсерв. Петровской Академіи. Москва, 1890 г. стр. 6.

**) Frankland: Proced. of the royal Soc. XXIII. 1882.

Мы приведемъ еще мнѣніе Уайпля*), который, произведя большой рядъ наблюденій съ шестью по возможности одинаковыми вычерненными термометрами съ пустыми оболочками, нашелъ, что нагрѣваніе ихъ растетъ съ толщиною слоя сажи и въ тоже время зависитъ отъ величины термометрическаго шарика, съ измѣненіемъ діаметра коего на 8% показанія измѣнялись приблизительно на 2°.

Но по мнѣнію Мари-Дави приборы эти доставляютъ, если и не вполнѣ точный, за то наиболѣе удобный способъ измѣренія радіаціи всего небеснаго свода въ различные часы дня. Дѣйствительно, приборы для измѣренія полной радіаціи, т. е. непосредственно идущей отъ солнца, а также отраженной отъ атмосферы, необходимы для практической метеорологіи, такъ какъ именно полная радіація регулируетъ жизнь растеній и характеризуетъ климатъ данной мѣстности.

Что касается математической теоріи радіаціоннаго термометра, то до настоящаго времени сдѣлано было въ этомъ отношеніи три попытки: первая принадлежитъ обсерваторіи Монсури, вторая—В. Феррелю и третья—Мауреру, а также Слугинову.

а) *Теорія обсерваторіи Монсури* основана на законѣ Ньютона. Пусть θ температура вычерненнаго термометра, θ_1—температура блестящаго термометра и θ'—температура оболочекъ; тогда, при наступленіи теплового равновѣсія, согласно закону Ньютона, $q = ce\,(\theta - \theta')$, $nq = ce'(\theta_1 - \theta')$, гдѣ q—количество теплоты, получаемой въ одну минуту чернымъ шарикомъ, nq—блестящимъ шарикомъ, e и e'—ихъ коэффиціенты лучеиспусканія.

Отсюда $q = \dfrac{cee'}{e' - ne}(\theta - \theta_1) = B(\theta - \theta_1)$ **).

Такимъ образомъ, хотя коэффиціентъ B остается неопредѣленнымъ, разность $\theta - \theta_1$ можетъ служить относительною мѣрою солнечной радіаціи.

*) G. Whipple: Quart. J. of. meteorol. Soc. X. 1884, p. 45.

**) Annuaire de l'Observ. de Montsouris, 1885, p. 34; 1886, p. 33; 1887, p. 24.

Результаты наблюденій приборовъ Монсури, какъ было уже замѣчено, выражаются въ актинометрическихъ градусахъ, для установленія которыхъ былъ употребленъ слѣдующій пріемъ.

Въ 1873 и 1874 г. въ обсерваторіи Монсури производились наблюденія по одному такому актинометру, и изъ тысячи наблюденій были выбраны девять, когда небо было совершенно свободно отъ самыхъ тончайшихъ облаковъ и воздухъ отличался наибольшею прозрачностью. Поэтому было принято, что въ этихъ девяти случаяхъ разность $\theta - \theta_1$ измѣняется правильно, въ зависимости отъ длины лучей въ атмосферѣ, и по формулѣ Бугера $\theta - \theta_1 = Ap^e$ найдено было, что $A = 17^\circ.0$ и $p = 0.875$. Такимъ образомъ приборъ, служащій для наблюденій, давалъ бы разность показаній своихъ термометровъ въ 17°, если бы онъ находился на верхнемъ предѣлѣ земной атмосферы. Но для выраженія показаній такихъ приборовъ въ актинометрическихъ градусахъ, соотвѣтствующихъ сотымъ долямъ напряженія солнечныхъ лучей на границѣ нашей атмосферы, A было положено равнымъ 100°, т. е. найденное выше значеніе увеличено было въ $^{100}/_{17} = 5.88$ разъ. Тогда каждое показаніе прибора въ актинометрическихъ градусахъ можно найти по формулѣ:

$100 \times 0.875^e = (\theta - \theta_1) \times \frac{100}{A}$, т. е. чтобы выразить показанія прибора Монсури въ актинометрическихъ градусахъ, нужно наблюденную разность его термометровъ помножить на 5.88.

Но различные приборы Монсури не даютъ для A одно и тоже значеніе, а отсюда понятно, что и величина коэффиціента, служащаго для перевода разности въ актинометрическіе градусы, должна быть дана особо для каждаго такого прибора. Численное значеніе этого коэффиціента, для каждаго отдѣльнаго прибора, опредѣляется въ обсерваторіи Монсури, посредствомъ сравненія его показаній съ показаніями нормальнаго актинометра.

Вмѣстѣ съ тѣмъ въ обсерваторіи Монсури вычислены были по формулѣ Бугера полуденныя напряженія въ актинометри-

ческихъ градусахъ для каждой широты, въ предѣлахъ 42° и 51°, на 1, 11 и 21 числа каждаго мѣсяца.

Сравненіе наблюденной разности, умноженной на данный коэффиціентъ, съ теоретическимъ градусомъ, соотвѣтствующимъ мѣсту и времени, можетъ показать, насколько наблюдаемая радіація уклоняется отъ нормальной теоретической.

b) *Теорія Ферреля* *). В. Феррель, основываясь на законѣ Дюлонга и Пти, первый пытался опредѣлить въ абсолютныхъ единицахъ величину солнечнаго напряженія по отсчетамъ двухъ термометровъ, изъ которыхъ одинъ выставленъ на солнце, а другой находится въ тѣни.

Пусть K означаетъ количество теплоты, которое падаетъ въ единицу времени на единицу поверхности, перпендикулярной къ лучамъ; S — поверхность термометрическаго резервуара; ρS—проекція этой поверхности на плоскость, перпендикулярную къ лучамъ; f—поглощательная способность термометрическаго резервуара.

Тогда термометръ, выставленный на солнце, будетъ получать отъ него въ единицу времени количество тепла $K\rho Sf$.

Но въ тоже время термометръ лучеиспускаетъ въ окружающую среду, согласно формулѣ Пулье, количество тепла $SBf(\mu^{\tau}-\mu^{\tau'})$, гдѣ f—лучеиспускательная способность резервуара, «равная», говоритъ Феррель, «его поглощательной способности», τ—температура термометра, τ'—«температура идеальной оболочки, лучеиспусканіе которой вполнѣ можетъ замѣнить лучеиспусканіе окружающей средины».

При наступленіи стаціонарнаго теплового состоянія

$$K\rho Sf = SBf(\mu^{\tau}-\mu^{\tau'}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

По формулѣ Бугера $K=Ap^{e}$, гдѣ A напряженіе солнечныхъ лучей на границѣ земной атмосферы, p—коэффиціентъ

*) Bull. of the philosoph. Soc. of Washington. Vol. V, 1883, p. 91. Zeitschrift für Meteorologie, 19, 1884, p. 386.

теплопрозрачности воздуха, e (секансъ зенитнаго разстоянія солнца) опредѣляетъ длину луча въ земной атмосферѣ.

Внося значеніе К въ (1), получимъ: $\rho A p^e = B(\mu^{\tau} - \mu^{\tau'})$.

На основаніи опытовъ Николя*), который наблюдалъ охлажденіе мѣднаго вычерненнаго шара въ безвоздушной вычерненной оболочкѣ, Феррель принимаетъ B=0.01808 (сантиметръ, граммъ, секунда); полагая въ тоже время, согласно актинометрическимъ наблюденіямъ Пулье и Гершеля, для средняго солнечнаго разстоянія A=0.03046, Феррель приходитъ къ формулѣ

$$\mu^{\tau-\tau'} = \frac{1.685\rho p^e}{\mu^{\tau'}} + 1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2).$$

При помощи этой формулы для каждаго зенитнаго разстоянія можно опредѣлить разность температуръ $\tau - \tau'$, если извѣстно p, а также температура тѣни τ'.

Феррель воспользовался наблюденіями Уокера на Гималаяхъ. На высотѣ 7400 ф. τ' было равно 14°C и $\tau - \tau' = 37°.2$C. Принимая $\rho = {}^1/_4$ (для сферическаго резервуара), изъ форм. (2) получаемъ $\tau - \tau' = 41°.9$C для p=1 и $\tau - \tau' = 32°.4$C для $p^e = 0.75$.

На высотѣ 13100 ф. Уокеръ нашелъ $\tau' = -0°.4$C и $\tau - \tau' = 41°.6$, а изъ форм. (2), для p = 1, получается $\tau - \tau' = 45.7$.

Такъ какъ p во всякомъ случаѣ меньше 1, то согласіе между теоріей и наблюденіемъ вообще можно считать удовлетворительнымъ.

«Теорія требуетъ», говоритъ Феррель, «чтобы оба термометра находились въ одинаковыхъ условіяхъ; если одинъ изъ термометровъ заключить въ стеклянную безвоздушную оболочку, *а другой—нѣтъ, то условіе не вполнѣ будетъ выполнено*».

Но едва-ли возможно замѣнить постоянной температуры вычерненную оболочку, при которой установленъ былъ законъ Дюлонга и Пти, совокупностью окружающихъ тѣлъ, или, какъ

---

*) См. стр. 51.

говоритъ Феррель, воображаемою оболочкою («imaginary inclosure»).

Кромѣ того, трудно допустить, чтобы коэффиціенты f были одинаковы, такъ какъ испускательную способность тѣла можно считать равною поглощательной только для лучей одного и того же рода; между тѣмъ въ данномъ случаѣ поглощается свѣтлая, а лучеиспускается темная теплота.

Наконецъ обозначенная Феррелемъ температура τ' («shade temperature») не есть на самомъ дѣлѣ температура воздуха въ тѣни.

Тѣмъ не менѣе Феррель полагаетъ, что выведенная имъ формула можетъ служить для опредѣленія солнечной радіаціи въ абсолютныхъ единицахъ, а именно изъ (1) $K = \frac{B}{\rho}(\mu^{\tau} - \mu^{\tau'})$.

Для $\rho = 1/4$ и $B = 0.01808$

$$K = 0.07232\,\mu^{\tau'}(\mu^{\tau - \tau'} - 1). \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)^{*)}$$

Авторъ подчеркиваетъ, что это первый выводъ подобной формулы, такъ какъ до него принимали, что разность температуръ термометра на солнцѣ и въ тѣни даетъ только относительную мѣру теплового напряженія.

Чтобы показать, что послѣднее мнѣніе не вполнѣ согласуется съ дѣйствительностью, Феррель приводитъ слѣдующіе примѣры:

$\tau' = 30^{\circ}$, $\tau - \tau' = 35^{\circ}C$; изъ (3) $K = 0.028$ калоріи

$\tau' = 0^{\circ}C$, $\tau - \tau' = 35^{\circ}C$; » » $K = 0.022$ »

Въ слѣдующей обширной работѣ Ферреля **) указанныя выше неудобства устраняются тѣмъ, что онъ разсматриваетъ находящійся въ пустотѣ радіаціонный термометръ, какъ бы получающій только темную теплоту отъ оболочки, нагрѣвающейся непосредственно падающими на нее солнечными лучами, почему

*) По поводу формулы (3) проф. Хвольсонъ говоритъ: «формула выражаетъ очевидно невѣрный результатъ, что всѣ тѣла на солнцѣ должны достичь одной и той же температуры τ».

О совр. сост. актин. стр. 171.

**) Professional Papers № 13.

коэффиціенты поглощенія и лучеиспусканія термометрическаго шарика считаетъ равными.

Полагая на этотъ разъ $B=0.01910$ (для одной минуты 1.146), согласно вычисленіямъ Пулье *), Феррель находитъ для количества теплоты, падающей въ одну секунду на единицу поверхности число калорій

$$J=0.07640\,(\mu^{\theta}-\mu^{\theta'})\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ (4)$$

гдѣ θ—температура вычерненнаго термометра, θ'—температура оболочки (хотя Феррель опредѣляетъ θ' посредствомъ пращевого термометра).

Для блестящаго термометра, находящагося въ пустотѣ, Феррель даетъ формулу $\rho_1 J=B(\mu^{\theta_1}-\mu^{\theta'})$, гдѣ θ' температура оболочки, одинаковая для обоихъ термометровъ, θ_1—температура блестящаго термометра; ρ_1 отличное отъ ρ, такъ какъ количество теплоты, отнесенное къ единицѣ поверхности шара, зависитъ не только отъ величины поверхности, но и отъ теплопроводности стеклянной трубки. Исключая изъ обоихъ уравненій θ', получимъ: $J=\frac{B}{\rho-\rho_1}(\mu^{\theta}-\mu^{\theta_1})$; для $\rho=1/4$ и $B=1.146$, $J=4.584(\mu^{\theta}-\mu^{\theta_1})\ a_1$, гдѣ $a_1=\frac{1}{1-4\rho_1}=\frac{\mu^{\theta}-\mu^{\theta'}}{\mu^{\theta}-\mu^{\theta_1}}$.

c) *Теорія Маурера* **). Вмѣсто закона Дюлонга и Пти Мауреръ примѣнилъ къ теоріи радіаціоннаго термометра законъ Стефана, по которому количество лучеиспускаемой какимъ либо тѣломъ теплоты пропорціонально 4-ой степени его абсолютной температуры. Такимъ образомъ, пренебрегая лучеиспусканіемъ термометрической трубки, а также замедленіемъ въ передачѣ тепла стеклянными стѣнками термометрическаго шарика, Мауреръ, подобно Феррелю, приходитъ къ слѣдующей формулѣ:

$$W=4B[(1+0.00366\tau)^4-(1+0.00366\tau')^4]\ \ldots\ldots\ (5)$$

*) См. стр. 51.

**) J. Maurer. Zeitschrift für Meteorologie, XX, 1885. p. 18.

По вычисленіямъ Стефана, B, т. е. количество тепла, которое лучеиспускаетъ квадратный сантиметръ вычерненной поверхности въ одну минуту при температурѣ 0°C, равно 0,403 *).

Наконецъ Слугиновъ **) также исходитъ изъ закона Стефана, а именно: $q=e(T^4-T_0^4)$, $nq=e'(T_1^4-T_0^4)$, гдѣ T, T_1 и T_0 абсолютныя температуры чернаго и блестящаго термометровъ и воздуха, e и e' испускательныя способности сажи и стекла.

$$\text{Отсюда } q=\frac{e'}{e'-ne}\,e\,(T^4-T_1^4)=a_2e(T^4-T_1^4).$$

Такимъ образомъ $e(T^4-T_0^4)=a_2e(T^4-T_1^4)$; откуда $a_2=\frac{T^4-T_0^4}{T^4-T_1^4}$.

Профессоръ Хвольсонъ ***) даетъ чрезвычайно обстоятельное какъ теоретическое, такъ и опытное изслѣдованіе радіаціонныхъ термометровъ.

Въ теченіе лѣта 1891 года, во всѣ времена дня, отъ восхода до заката солнца, имъ произведены были многочисленныя наблюденія въ Павловскѣ, которыя имѣли своею цѣлью:

1. Изучить свойства радіаціоннаго термометра вообще и актинометра Араго-Дави въ особенности.

2. Выяснить, какія тепловыя явленія происходятъ внутри прибора при достиженіи стаціонарнаго состоянія.

3. Сравнить методъ Гершеля и Араго и опредѣлить степень ихъ пригодности.

Произведенныя наблюденія обнаружили, что стаціонарная температура радіаціоннаго термометра зависитъ отъ его расположенія относительно солнечныхъ лучей.

Причину этого явленія слѣдуетъ искать въ томъ, что, сообразно съ положеніемъ термометра, иногда освѣщается лучами

---

*) См. стр. 59; B очевидно равно A. 273^4=0.403

**) Н. П. Слугиновъ. «О метеорологическихъ и фотометрическихъ наблюденіяхъ во время солнечнаго затмѣнія 1887 года». Казань. 1888 г., стр. 62 и 69.

***) О совр. сост. актином. стр. 180.

вполнѣ свободное полушаріе, а иногда такое, около котораго начинается трубка термометра. Кромѣ того, трудно допустить, чтобы толщина стеклянной оболочки вездѣ была одинаковая.

Ко всему этому присоединяется различное дѣйствіе лучей на ртутный столбикъ, который въ иныхъ случаяхъ можетъ быть защищенъ полосою молочнаго стекла.

Поэтому, если актинометръ устанавливается по способу, принятому въ Монсури, т. е. такъ, что оба его термометра находятся въ плоскости, перпендикулярной къ меридіану, то разность показаній чернаго и блестящаго термометровъ должна оказаться утромъ слишкомъ малою, если вычерненный термометръ наклоненъ къ востоку и вечеромъ, если онъ наклоненъ къ западу. Ошибки въ этомъ случаѣ, при оцѣнкѣ напряженія солнечной радіаціи, могутъ достигать $9^0/_0$.

Въ особенности интересны сдѣланные проф. Хвольсономъ изслѣдованія тепловыхъ явленій, происходящихъ въ радіаціонномъ термометрѣ. Стефаномъ было указано, какую важную роль при охлажденіи тѣла играетъ теплопроводность газа, остающагося въ окружающей оболочкѣ. Съ уменьшеніемъ упругости разрѣжаемаго газа теплопроводность его убываетъ весьма медленно *). Къ такимъ же результатамъ приходитъ и проф. Хвольсонъ. Имъ было вычислено количество теплоты W, которое вслѣдствіе теплопроводности въ теченіе одной минуты переходитъ черезъ разрѣженный воздухъ отъ поверхности шарика термометра къ оболочкѣ, по формулѣ:

$$W = \frac{4\pi rR}{R-r} k\ (T_1 - T_2) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

гдѣ r и R радіусы, T_1 и T_2 — температуры шарика и оболочки, k—коэффиціентъ теплопроводности воздуха для средней температуры изъ T_1 и T_2.

*) См. стр. 53. Только при крайнихъ достижимыхъ степеняхъ разрѣженія газа теплопроводность его начинаетъ быстро уменьшаться, какъ показали опыты Крукса (Nature t. 23, p. 234).

Оказалось, что W даже превышаетъ найденное проф. Хвольсономъ, по наблюденной скорости охлажденія, количество теплоты Q, которое, при стаціонарномъ состояніи, термометрическій шарикъ поглощаетъ въ одну минуту.

Объяснить этотъ неожиданный результатъ можно тѣмъ, что въ формулѣ (6) температура оболочки T_2 принималась равною температурѣ внѣшняго воздуха. Чтобы получить меньшее значеніе для W, нужно уменьшить разность $T_1—T_2$, т. е. принять, что *температура стекляной оболочки выше температуры окружающаго воздуха.* Вѣроятно, при незначительной теплопроводности стекла, оболочка нагрѣвается внутри.

Послѣдній вопросъ, разсматриваемый проф. Хвольсономъ въ главѣ объ относительныхъ актинометрахъ Гершеля и Араго Дави, это вопросъ о степени достовѣрности обоихъ методовъ.

По методу Гершеля относительною мѣрою солнечной радіаціи должна служить разность $\theta—\theta'$, а по методу Араго Дави—соотвѣтственная разность $\theta—\theta_1$, гдѣ θ и θ_1—температуры вычерненнаго и блестящаго шариковъ, θ'—температура тѣни, опредѣлявшаяся въ Павловскѣ при помощи прибора Ассмана. Если обоимъ методамъ свойственна одинаковая степень точности, то означенныя разности должны сохранять постоянное отношеніе, т. е. $\frac{\theta—\theta'}{\theta—\theta_1}=\mathrm{const}=a$.

Пусть въ тоже время отношеніе повышеній температуръ обоихъ термометровъ Араго-Дави, т. е. $\frac{\theta_1—\theta'}{\theta—\theta'}=b$.

Если допустить, какъ это дѣлаютъ Феррель и Мауреръ, что коэффиціенты лучеиспусканія сажи и стекла для темныхъ лучей одинаковы, тогда изъ формулы Монсури, при $e=e'$, получимъ: $n=b=\frac{\theta_1—\theta'}{\theta—\theta'}$. Такимъ образомъ, если примѣнить законъ Ньютона къ теоріи радіаціоннаго термометра, то величина b, какъ отношеніе количествъ теплоты, поглощаемыхъ обоими термометрами, должна оставаться также постоянною.

Между тѣмъ наблюденія въ Павловскѣ показали, что величина a ежедневно возрастаетъ утромъ и убываетъ къ вечеру.

Крайнія значенія a отличались другъ отъ друга на 48%.

Отношеніе b также всегда оказывалось большимъ (слишкомъ на 56%) около полудня.

Отсюда можно прійти къ заключенію, что около полудня нагрѣваніе блестящаго термометра, въ сравненіи съ нагрѣваніемъ зачерненнаго, значительно больше, нежели утромъ и вечеромъ. Въ этомъ случаѣ можно было бы устранить непостоянство a и b, если взять вмѣсто θ' величину нѣсколько большую.

Обстоятельство это подаетъ поводъ сдѣлать слѣдующее заключеніе:

1. Въ методѣ Гершеля истинная температура воздуха не можетъ быть принята за температуру тѣни; послѣдняя должна быть выше.

2. Въ методѣ Араго-Дави температура оболочки около полудня значительно выше истинной температуры воздуха.

Аналогичные выводы получаются и въ томъ случаѣ, если, взявъ за основаніе теорію Ферреля или Слугинова, опредѣлить величины, соотвѣтствующія a и b.

По теоріи Ферреля $a_1 = \frac{\mu^{\theta} - \mu^{\theta'}}{\mu^{\theta} - \mu^{\theta_1}}$, $b_1 = \frac{\mu^{\theta_1} - \mu^{\theta'}}{\mu^{\theta} - \mu^{\theta'}}$.

» » Слугинова $a_2 = \frac{T^4 - T_0^4}{T^4 - T_1^4}$, $b_2 = \frac{T_1^4 - T_0^4}{T^4 - T_0^4}$.

Такимъ образомъ рядъ обстоятельствъ подаетъ поводъ предположить, что значительная часть солнечной радіаціи, въ особенности около полудня, поглощается оболочкою, которая такимъ образомъ нагрѣвается; но трудно допустить, чтобы нагрѣванія оболочки были пропорціональны солнечной радіаціи, составъ которой непрерывно измѣняется съ высотою солнца, а въ такомъ случаѣ разность температуръ чернаго и блестящаго термометровъ не можетъ служить мѣрою солнечной радіаціи.

§ 47. *Шары Віолля.* Въ 1879 году Віолль*) предложилъ слѣдующій методъ опредѣленія полной радіаціи небеснаго свода.

На открытой мѣстности, поросшей травою, устанавливаются два баллона изъ тонкой красной мѣди, имѣющіе внѣшній діаметръ въ 1 дециметръ. Внѣшняя поверхность одного баллона вычернена, а другого—покрыта тонкимъ слоемъ полированнаго золота.

Внутренняя же поверхность обоихъ баллоновъ вычернена. Въ центрѣ каждаго изъ нихъ помѣщенъ вычерненный шарикъ термометра, трубка котораго выходитъ наружу, въ сторону, противоположную солнцу.

При такихъ условіяхъ, какъ на первый металлическій шарикъ, такъ и на второй, будетъ падать одно и тоже количество лучей; но поглощательныя и лучеиспускательныя ихъ способности не одинаковы, поэтому онѣ примутъ различныя температуры. Черный шарикъ, достигнувъ стаціонарнаго состоянія, покажетъ избытокъ *u* надъ температурою воздуха, опредѣляемою пращевымъ термометромъ, а золоченный—нѣсколько меньшій избытокъ u'. Пусть Q количество теплоты, падающей въ одну минуту на поверхность каждаго шарика. Потеря, которую испытываетъ въ тоже время, при достиженіи стаціонарнаго состоянія, черный шарикъ, будетъ тоже самое количество теплоты Q, при чемъ потеря отъ лучеиспусканія *e. u* и отъ соприкосновенія воздуха *r. u*, гдѣ *e* и *r* коэффиціенты, соотвѣтственно пропорціональные испускательной способности шарика и охлаждающей способности воздуха. Тогда при стаціонарномъ состояніи:

$$Q=(e+r)u \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

---

*) Violle: «Rapport sur la question 19 du programme pour la congrès météorologique du Rome». Ann. de phys. et de chimie, 5 sér., t. 17' p. 407, 1879.

Въ тоже время позолоченный шарикъ, получая также количество теплоты Q, будетъ поглощать только aQ, гдѣ *a* зависитъ отъ поглощательной способности полированнаго золота.

Въ различные часы дня солнечная радіація неодинаково поглощается земною атмосферою; не смотря на это, золоченные шарики постоянно поглощаютъ одну и туже часть падающей теплоты, какъ это было найдено Віоллемъ непосредственными измѣреніями поглощенія по методу Провосте и Дезена.

Съ этою цѣлью были выставлены на солнце два совершенно тождественные шарика, при чемъ одинъ былъ вызолоченъ, а другой покрытъ копотью. Когда шарики пришли въ стаціонарное состояніе, Віолль, прикрывая каждый шарикъ экраномъ на нѣсколько минутъ и наблюдая охлажденіе ихъ, нашелъ отношеніе скоростей охлажденія $v' : v = a$, при избыткахъ температуры u' и u.

Взявъ вмѣсто ртутныхъ термометровъ спиртовые, Віолль замѣтилъ, что при этомъ отношеніе *a* не измѣнилось. Послѣ этого Віолль заставлялъ падать на шарики:

1. Солнечные лучи, непосредственно идущіе отъ солнца.

2. Солнечные лучи, предварительно прошедшіе черезъ слой воды толщиною въ одинъ сантиметръ.

Изъ этихъ опытовъ онъ нашелъ, что въ первомъ случаѣ $a=0.308$, во второмъ $a=0.303$.

Такое постоянство коэффиціента *a* тѣмъ болѣе замѣчательно, что при другихъ условіяхъ золото, напротивъ, обнаруживаетъ различную поглощательную способность.

Такъ Провосте и Дезенъ нашли, что листовое золото, наложенное на шарикъ термометра, поглощаетъ 13% падающей на него солнечной теплоты и только 4% лучей, испускаемыхъ лампою. Этотъ видъ золота поглощаетъ наиболѣе преломляемые лучи, отражая въ тоже время огромное количество лучей съ длинными волнами, характеризующихъ радіацію слабыхъ источниковъ теплоты.

На основаніи этихъ изслѣдованій, принимая коэффиціентъ a за постоянный, можно представить количество теплоты, поглощаемой золоченнымъ шарикомъ въ одну минуту, посредствомъ aQ. Если же этотъ шарикъ теряетъ вслѣдствіе лучеиспусканія и соприкосновенія съ воздухомъ количество теплоты $(e'+r)u'$, гдѣ e' аналогично e, r — сохраняетъ прежнее значеніе, то при стаціонарномъ состояніи шарика:

$$aQ=(e'+r)u' \qquad (2)$$

Вычитая изъ (1) ур. (2), получимъ: $\frac{Q}{u}-\frac{Qa}{u'}=e-e'$;

$Q(u'-au)=uu'(e-e')$; откуда $Q=\frac{(e-e')uu'}{u'-ua}$.

Если довольствоваться только относительными измѣреніями, то постоянный множитель $(e-e')$ можно и не вычислять.

Опредѣлить же его разъ навсегда проще всего посредствомъ сравненія съ абсолютнымъ актинометромъ, воспринимающимъ полную радіацію. Величина a опредѣляется, какъ выше замѣчено, по способу Провосте и Дезена; для этого, говоритъ Віолль, всего лучше производить наблюденія около полудня, когда радіація въ теченіе довольно продолжительнаго времени измѣняется незначительно.

Если назовемъ посредствомъ S площадь большого круга шарика, то количество теплоты, падающей нормально на 1 квадратный сантиметръ въ одну минуту, $q=\frac{e-e'}{S}\cdot\frac{uu'}{u'-au}$.

Означая посредствомъ k постоянное, зависящее отъ прибора, получимъ $q=k\frac{uu'}{u'-au}$. Такимъ образомъ можно найти численное значеніе q.

Но для практическихъ цѣлей Віолль рекомендуетъ составить таблицу, на горизонтальныхъ линіяхъ которой помѣстить

 170

различныя значенія u, а на вертикальныхъ u'. Тогда на пересѣченіи этихъ линій будетъ q, соотвѣтствующее даннымъ u и u'.

Этотъ же приборъ, говоритъ Віолль, можетъ служить и для измѣренія непосредственной солнечной радіаціи, если защитить шарики оболочками, пропускающими черезъ сдѣланныя отверстія только лучи, идущіе отъ солнца.

Противъ теоріи и устройства шаровъ Віолля, проф. Хвольсонъ *) дѣлаетъ слѣдующія возраженія.

1. Температура вычерненнаго термометра, помѣщеннаго свободно въ воздухѣ, какъ показали опыты въ Павловскѣ, весьма сильно измѣняется даже при самомъ незначительномъ вѣтрѣ; поэтому стаціонарное состояніе можетъ быть наблюдаемо только при особо благопріятныхъ условіяхъ.

2. Коэффиціентъ e подверженъ быстрымъ измѣненіямъ, какъ отъ измѣненій температуры, такъ и влажности.

3. Сомнительно, чтобы шары, когда они защищены отъ непосредственнаго дѣйствія солнечныхъ лучей, могли принимать температуру воздуха, такъ какъ этому должна препятствовать радіація земной поверхности и небеснаго свода. Въ виду этого u и u' нельзя принимать за избытки температуры шаровъ надъ температурою воздуха, опредѣляемою пращевымъ термометромъ.

4. Оказалось практически чрезвычайно труднымъ опредѣленіе скоростей охлажденія обоихъ шаровъ для вычисленія a, какъ этого требуетъ формула Віолля.

§ 48. *Приборъ Ангстрема для относительныхъ измѣреній.* Наблюденія помощью описаннаго нами прибора Ангстрема**) не могутъ производиться на метеорологическихъ станціяхъ 2-го разряда, такъ какъ требуютъ извѣстнаго навыка со стороны наблюдателей. Для послѣдней цѣли Ангстремъ предлагаетъ приборъ болѣе упрощенной конструкціи.

---

*) О. Хвольсонъ. О совр. сост. актинометріи, стр. 228.

**) См. стр. 120.

Существенную часть этого прибора составляютъ также калориметрическія пластинки, на которыхъ сдѣланы концентрическіе каналы. Эти каналы, наполненные воздухомъ, сообщаются между собою посредствомъ трубки, средняя часть которой, сдѣланная изъ стекла и градуированная, содержитъ въ себѣ индексъ изъ сѣрной кислоты. Такимъ образомъ пластинки образуютъ дифференціальный термометръ, и разность ихъ температуръ наблюдается непосредственно по дѣленіямъ трубки.

Приборъ этотъ конечно не можетъ давать особенно точныхъ показаній; постоянная его опредѣляется по сравненію съ показаніями абсолютнаго актинометра.

§ 49. *Актинометръ проф. Хвольсона.* Для относительныхъ измѣреній солнечной радіаціи проф. Хвольсонъ *) воспользовался тѣмъ же принципомъ Ангстрема, а именно наблюденіемъ температурной разности двухъ тѣлъ, изъ которыхъ одно находится въ тѣни, а другое на солнцѣ. Роль этихъ двухъ тѣлъ въ его приборѣ играютъ два термометра, резервуары которыхъ, направленные къ солнечнымъ лучамъ, легко могутъ затѣняться ширмами, какъ и въ абсолютномъ пиргеліометрѣ. Шкалы обоихъ термометровъ, устанавливаемые при наблюденіяхъ по направленію солнечныхъ лучей, прикрѣплены, одна вблизи другой, къ двумъ мѣднымъ пластинкамъ, внѣшнія стороны которыхъ заканчиваются зубцами. При помощи двухъ зубчатокъ, захватывающихъ собою зубцы мѣдныхъ пластинокъ, оба термометра могутъ перемѣщаться одинъ мимо другого. Если вращать зубчатки въ одну и туже сторону, напр. по направленію движенія часовой стрѣлки, то лѣвый термометръ опускается, въ тоже время правый поднимается. Благодаря такому устройству, можно въ то время, когда одинъ ртутный резервуаръ подвергается дѣйствію солнечныхъ лучей, а другой находится въ тѣни, перемѣщать оба термометра такимъ образомъ,

*) Actinometrische Untersuchungen, kapitel X, p. 132.

чтобы концы ихъ ртутныхъ столбиковъ постоянно совпадали съ тонкою черною проволокою, натянутою на неподвижную рамку. Къ той же рамкѣ прикрѣплена большая лупа, посредствомъ которой можно одновременно видѣть обѣ шкалы. Движеніе шкалъ можетъ быть прекращено въ любой моментъ, и по положенію проволоки, не торопясь, легко отсчитать температуры обоихъ термометровъ.

Очевидно, что при такомъ устройствѣ актинометра, наблюденія возможно вести только по методу «равныхъ временъ». Если отсчеты производить черезъ каждыя полминуты, то въ $2^1/_2$ мин. получится пять паръ температуръ обоихъ термометровъ; отсюда получается пять температурныхъ разностей, изъ которыхъ первыя двѣ имѣютъ одинъ знакъ, а послѣднія двѣ—знакъ противоположный.

Весьма замѣчательно, что эти пять температурныхъ разностей даютъ два совершенно независимыя другъ отъ друга значенія солнечной радіаціи.

Обозначимъ эти разности слѣдующимъ образомъ:

1-я	2-я	3-я	4-я	5-я
θ_1		θ_2	..	$-\theta_3$
	θ'_1	θ'_2	$-\theta'_3$	

Тогда, примѣняя приближенную формулу $q=\frac{2c}{s}\cdot\frac{1}{t}\cdot\frac{\theta_1\theta_3+\theta_2^2}{\theta_1+\theta_3}$, мы можемъ найти одно значеніе q при помощи θ_1, θ_2 и θ_3, т. е. 1-ой, 3-ей и 5-ой температурной разности, а другое изъ 2-ой, 3-ей и 4-ой такой же разности (θ'_2 конечно$=\theta_2$).

Возьмемъ для примѣра наблюденія въ Павловскѣ 23 августа въ 2 ч. 33′р.

Лѣвый терм.	Правый терм.	Разности.		
23.°05	25.°50	2.°45	$\theta_1=2.45$	
24. 00 ...	25. 10	1. 10		$\theta'_1=1.10$
24. 77	24. 70	—0. 07	$\theta_2=-0.07$,	$\theta'_2=-0.07$
25. 46	24. 40	—1. 06		$\theta'_3=1.06$
26. 10	24. 18	—1. 92	$\theta_3=1.92$	

Пусть $\frac{2c}{s} = k$, тогда $q = k\Omega$, гдѣ Ω опредѣляется наблюденными разностями.

Для перваго случая $t = 1$ и $\Omega_1 = \frac{\theta_1\theta_3 + \theta_2^2}{\theta_1 + \theta_3} = 1.078$.

Для второго » $t = {}^1/_2$ и $\Omega_2 = 2\frac{\theta'_1\theta'_3 + \theta'^2_2}{\theta'_1 + \theta'_3} = 1.084$.

Но очевидно Ω_1 должно быть равнымъ Ω_2, и мы видимъ, что разность между обоими значеніями не превышаетъ 0.6%.

ГЛАВА XIII.

Термоэлектрическіе приборы для измѣренія солнечной радіаціи.

§ 50. *Приборъ Дезена.* Термоэлектрическій приборъ былъ впервые примѣненъ Секки при опредѣленіи относительной температуры различныхъ точекъ солнечной поверхности.

Къ изученію солнечной радіаціи термоэлектрическій актинометръ былъ примѣненъ Дезеномъ въ 1869, 1874 и 1875 годахъ *).

Приборъ Дезена, построенный Дюбоскомъ и Румкорфомъ, состоялъ изъ термоэлектрическаго столбика, заключеннаго въ двойную трубку, которая при помощи геліостата Зильбермана двигалась такимъ образомъ, что ось ея постоянно направлена была къ солнцу. Если открыть крышку трубы, то солнечные лучи непосредственно падаютъ на одну сторону термоэлектрическаго столбика, показанія котораго можно выразить и въ калоріяхъ. Для этого ихъ нужно сравнить съ показаніями

*) Desains et Branly: «Recherches sur le rayonnement solaire». Comptes Rendus 1869, 1874, 1875.

термометра, вычерненный шарикъ котораго получаетъ радіацію при тѣхъ же условіяхъ.

Изслѣдованія свои Дезенъ началъ вмѣстѣ съ Бранли лѣтомъ 1869 года, съ цѣлью опредѣлить, какую роль играютъ водяные пары при прохожденіи лучей черезъ атмосферу. Позже изслѣдованія эти Дезенъ продолжалъ одинъ.

Кромѣ описаннаго прибора Дезенъ употреблялъ еще другой, болѣе удобный для переноски. Онъ состоялъ изъ подставки, имѣющей двойное движеніе и поддерживающей мѣдную трубку 0.06 м. длины и 0.05 м. въ діаметрѣ. Движеніе подставки давало возможность постоянно направлять, при помощи системы діоптровъ, ось трубки къ центру солнца. Къ этой трубкѣ прикрѣплялся прежній двойной футляръ съ термоэлектрическимъ столбикомъ, который можно было замѣнять термометромъ съ вычерненнымъ резервуаромъ.

Наконецъ въ той же трубкѣ Дезенъ помѣщалъ, въ иныхъ случаяхъ, особаго рода спектроскопъ, для изслѣдованія причинъ, имѣющихъ вліяніе на положеніе теплового максимума въ солнечномъ спектрѣ.

Термоэлектрическій столбикъ Дезена обыкновенно состоялъ изъ четырехъ только элементовъ; отъ времени до времени, при наблюденіяхъ, Дезенъ испытывалъ его чувствительность, которая вообще можетъ измѣняться вмѣстѣ съ температурою. Для этого сравнивалось дѣйствіе солнечныхъ лучей на термомультипликаторъ съ дѣйствіемъ ихъ на термометръ, поставленный въ тождественныя условія.

Начальная скорость нагрѣванія термометра, подверженнаго дѣйствію радіаціи, по наблюденіямъ Дезена, всегда пропорціональна импульсивному дѣйствію, сообщаемому въ тотъ же моментъ стрѣлкѣ мультипликатора, и, слѣдовательно, также можетъ измѣрять тепловое напряженіе лучей. Такимъ образомъ рядомъ съ термоэлектрическими наблюденіями Дезенъ производилъ измѣренія солнечной радіаціи и помощью термометра, вы-

черненный шарикъ котораго помѣщался внутри двойной трубки такимъ образомъ, что центръ его и центръ круглаго отверстія, пропускающаго лучи, находились на оси этого цилиндрическаго футляра.

Наконецъ при помощи приведенной уже нами формулы*) $\omega[f(T)-f(t)]=(V+U)M$, гдѣ V скорость нагрѣванія, U скорость охлажденія термометра при одной и той же температурѣ, а M теплоемкость термометрическаго шарика, Дезенъ могъ свои наблюденія выражать въ абсолютныхъ единицахъ.

Актинометръ Дезена, нѣсколько измѣненный Мари-Дави**), установленъ въ обсерваторіи Монсури, гдѣ производятся регулярныя наблюденія при помощи этого прибора***).

§ 51. *Приборъ Розетти.* Розетти примѣнилъ термоэлектрическій методъ къ измѣренію относительныхъ напряженій различныхъ источниковъ, имѣя при этомъ въ виду опредѣлить температуру солнца.

При своихъ работахъ Резетти пользовался двумя термоэлектрическими столбиками, изъ которыхъ одинъ былъ устроенъ Дюбоскомъ, а другой Гуржономъ.

Термоэлектрическій столбикъ Дюбоска состоялъ изъ 25 элементовъ (висмутъ-сюрьма), расположенныхъ въ видѣ прямой призмы съ квадратными основаніями, на которыхъ находились покрытые сажею спаи. Столбикъ помѣщался въ центрѣ латунной съ двойными стѣнками клѣтки, которая имѣла два отверстія, для прохожденія лучей до одной или до другой поверхности спаевъ. Отверстія эти, въ случаѣ надобности, закрывались двойными экранами. Внутреннія стѣнки клѣтки были покрыты сажею; бока же столбика, для предохраненія отъ лучеиспусканія со стороны стѣнокъ, защищались двумя нѣсколько расходящимися трубками, которыя доходили почти до отверстій

---

*) См. стр. 99.

**) Annuaire de l'Observatoire Municipal de Montsouris pour l'an 1888.

***) Rosetti: «Sur la température du soleil, recherches expérimentales». Annales de chimie et de physique 1879, 5 série.

клѣтки. Клѣтка и прикрѣпленный къ ней столбикъ могли болѣе или менѣе наклоняться къ горизонту посредствомъ особой зубчатки. Наконецъ, поворачивая цоколь прибора, можно было сообщить столбику вращеніе и около вертикальной оси.

Весьма важно такъ направить столбикъ, чтобы основанія его были перпендикулярны къ лучамъ. Для этой цѣли служатъ два діоптра. Прямая, проходящая черезъ центры отверстій обоихъ діоптровъ, параллельна оси столбика. Поэтому, если лучъ одновременно проходитъ черезъ отверстія обоихъ діоптровъ, то столбикъ установленъ правильно.

Другой термоэлектрическій столбикъ, построенный Гурженомъ, служилъ Розетти только для нѣкоторыхъ частныхъ изслѣдованій. Онъ состоялъ изъ большого числа элементовъ: висмутъ-сюрьма, расположенныхъ въ видѣ прямого круглаго цилиндра. Этотъ столбикъ былъ чувствительнѣе перваго.

Для измѣренія напряженія электрическаго тока, возбуждающагося въ столбикѣ при дѣйствіи тепловыхъ лучей, Розетти пользовался зеркальнымъ гальванометромъ Видемана. Въ этомъ гальванометрѣ, какъ извѣстно, въ мѣдной гильзѣ виситъ на длинной коконовой нити стальное полированное зеркальце, такъ намагниченное, что горизонтальный поперечникъ его образуетъ магнитную ось. По обѣ стороны мѣдной гильзы расположены бобины, которыя могутъ одна къ другой приближаться или удаляться. На каждой бобинѣ по двѣ проволоки, такъ что приборъ можетъ служить, между прочимъ, дифференціальнымъ гальванометромъ. Въ опытахъ Розетти бобины, для большей чувствительности прибора, располагались вообще близко къ зеркальцу, которое астатизировалось сильнымъ магнитомъ. Такимъ расположеніемъ достигалась чрезвычайно большая чувствительность прибора. Труба съ раздѣленною линейкою помѣщалась на разстояніи трехъ метровъ отъ гальванометра; при этомъ шкала раздѣлена была черезъ каждые два миллиметра,

и при помощи трубы можно было отсчитывать десятыя доли дѣленій.

§ 52. *Приборъ Фрелиха.* Въ послѣднее время Фрелихъ *) произвелъ рядъ весьма интересныхъ наблюденій, которыя привели его къ заключенію, что напряженіе солнечной энергіи подвержено довольно замѣтнымъ колебаніямъ, имѣющимъ, по его мнѣнію, тѣсную связь съ появленіемъ на солнцѣ пятенъ и свѣточей. При своихъ работахъ Фрелихъ пользовался термоэлектрическимъ столбикомъ и зеркальнымъ гальванометромъ Сименса и Гальске.

По мнѣнію Фрелиха, методъ Лангле **) не можетъ представлять особыхъ выгодъ, такъ какъ тѣже самые результаты могутъ быть получены при помощи термоэлектрическаго столбика. Если въ методѣ Лангле, говоритъ онъ, и можно, повидимому, насколько угодно увеличить чувствительность прибора увеличеніемъ заряда баттареи, то, съ другой стороны, отъ усиленія тока и дѣйствія такъ называемаго явленія Пельтье ***), увеличивается нагрѣваніе въ цѣпи. Сверхъ того здѣсь, какъ и въ

*) Frölich: «Messungen der Sonnenwärme». Wied. Ann. 1884. 1. p. 21. «Mesure de la chaleur solaire», Annales de chimie et de physique, 6 série, t. III. 1884, p. 500. Переводъ Бертело.

Настоящая работа была слѣдствіемъ предварительныхъ изысканій Фрелиха относительно температуры междупланетнаго пространства и теплоты неба:

Repert. der Meteor. 6, n°1. Petersburg 1876. Poggendorff's Annal. 1877, Sup. 8. p 664.

**) См. гл XIV.

***) Въ 1834 году Пельтье замѣтилъ, что если пропустить электрическій токъ отъ баттареи черезъ спай разнородныхъ металловъ, то спай будетъ нагрѣваться или охлаждаться, смотря по направленію тока. (Annales de chimie et de physique t. XVIII. 1869, p. 463). Это явленіе нагрѣванія или охлажденія, вызванное токомъ при прохожденіи его черезъ спай двухъ разнородныхъ металловъ, называется «явленіемъ Пельтье»; оно отличается отъ развитія тепла въ проводникѣ большого сопротивленія, совершающагося по закону Джоуля, тѣмъ, что количество развиваемой или поглощаемой теплоты въ явленіи Пельтье пропорціонально просто силѣ тока, а не квадрату ея, какъ въ случаѣ развитія теплоты отъ сопротивленія.

методѣ Фрелиха, предѣлъ чувствительности обусловливается колебаніями температуры оболочки прибора, и избѣжать совершенно этихъ колебаній невозможно никакими предосторожностями.

Въ устройство своего термоэлектрическаго столбика Фрелихъ вносилъ постепенно различныя усовершенствованія, такъ что окончательный его видъ слѣдующій.

Столбикъ, составленный изъ маленькихъ стержней, помѣщается въ открытой трубкѣ, которая при помощи металлическихъ колецъ вставлена въ другую мѣдную трубку, внутри вычерненную. Эта послѣдняя позади закрыта мѣдною пластинкою, а впереди полированною пластинкою изъ каменной соли въ металлической оправѣ. Пластинку изъ каменной соли и термоэлектрическій столбикъ легко можно вынимать изъ заключающей ихъ трубки. Внѣшняя трубка вмѣстѣ съ придѣланною къ ней воронкою помѣщается въ широкомъ жестяномъ цилиндрѣ, въ которомъ циркулируетъ токъ воды постоянной температуры.

Опытъ показалъ Фрелиху, что лучеиспусканіе воронки, даже при самой тщательной полировкѣ металла, оказываетъ значительное вліяніе на столбикъ; поэтому онъ причислилъ и воронку къ числу предметовъ, температура которыхъ должна оставаться постоянною.

Въ мѣдную трубку съ боковой стороны вставляется другая мѣдная трубка, которая содержитъ изогнутый подъ прямымъ угломъ термометръ и мѣдные проводники. Послѣдняя трубка сообщается также съ внѣшнимъ воздухомъ. Первый и послѣдній стержни термоэлектрическаго столбика находятся въ соединеніи съ нейзильберовыми эластическими пластинками, къ которымъ привинчиваются мѣдные проводники. Послѣдніе же посредствомъ мѣдныхъ проволокъ соединяются съ гальванометромъ.

Воронка закрывается полою металлическою крышкою, въ срединѣ которой сдѣлано отверстіе, запирающееся такою же полою крышкою. Діаметръ этого отверстія гораздо меньше, нежели діаметръ передней поверхности столбика, такъ что про-

ходящій черезъ это отверстіе пучекъ параллельныхъ лучей не покрываетъ совершенно всей передней поверхности столбика.

Не только внутри жестяного цилиндра, но даже въ обѣихъ полыхъ крышкахъ циркулируетъ вода постоянной температуры. Такимъ образомъ термоэлектрическій столбикъ въ приборѣ Фрелиха совершенно отдѣленъ отъ окружающаго воздуха и, за исключеніемъ пластинки изъ каменной соли, пропускающей солнечные лучи, окруженъ оболочкою постоянной температуры.

Фрелихъ обратилъ особое вниманіе на то, чтобы температура пространства, окружающаго столбикъ, оставалась постоянною, или чтобы измѣненія ея происходили по возможности медленно и равномѣрно. Скорость этихъ измѣненій можетъ быть регулирована увеличеніемъ или уменьшеніемъ водяной массы резервуара.

Такое устройство, говоритъ Фрелихъ, даетъ возможность измѣрять солнечную теплоту съ приближеніемъ до нѣсколькихъ тысячныхъ и небеснаго свода до одной или двухъ сотыхъ.

Жестяной цилиндръ, содержащій столбикъ, устроенъ въ видѣ теодолита, съ двумя осями вращенія и микрометрическими винтами. Такое устройство позволяетъ направлять столбикъ въ любую точку неба. При измѣреніи солнечной радіаціи на передней сторонѣ цилиндра прикрѣпляется деревянная крышка съ двумя чечевицами: большою и малою. Малая служитъ для точнаго направленія столбика на солнце. Изображеніе солнца въ этомъ случаѣ проектируется на прикрѣпленной къ жестяному цилиндру тонкой металлической пластинкѣ, на которой начерченъ крестъ. Посредствомъ микрометрическаго винта изображеніе солнца во все время наблюденія поддерживается на означенномъ крестѣ.

Большая линза служитъ для наблюденій сосѣднихъ къ солнцу частей неба. Изображеніе проектируется на бѣлой доскѣ, на которой въ мѣстѣ, соотвѣтствующемъ положенію солнца,

сдѣлано отверстіе. Такимъ образомъ глазъ легко можетъ слѣдить за всѣми проходящими мимо солнца облаками и улавливать тѣ моменты, когда лучи солнца безпрепятственно доходятъ до земной поверхности.

Впослѣдствіи устройство термоэлектрическаго столбика Фрелихомъ было усовершенствовано. Въ элементахъ: сурьма-висмутъ сурьма замѣнена была смѣсью: цинкъ-сурьма, вслѣдствіе чего электровозбудительная сила почти утроилась. Но изъ такой смѣси, по недостатку твердости, очень трудно выливать маленькіе стержни. Поэтому Фрелихъ помѣщалъ предварительно въ формахъ желѣзныя нити, которыя составляли такимъ образомъ остовы выливаемыхъ палочекъ.

«Здѣсь нужно упомянуть еще», говоритъ Фрелихъ, «объ очень распространенномъ предразсудкѣ, по которому термоэлектрическій столбикъ считается тѣмъ чувствительнѣе, чѣмъ больше элементовъ. Простого вычисленія достаточно, чтобы показать, что дѣйствіе его на магнитъ наибольшее, когда сопротивленіе столбика равно сопротивленію гальванометра; поэтому можно съ малымъ числомъ элементовъ получить тотъ же результатъ, что и съ большимъ, если регулировать длину проволоки гальванометра, сообразно со столбикомъ».

Термоэлектрическій столбикъ Фрелиха имѣлъ переднюю поверхность въ 225 кв. мм. и содержалъ девять стержней, такъ что передняя поверхность каждаго равна была 25 кв. милл. Эти поверхности были вычернены посредствомъ пламени небольшой петролеумовой лампы.

Что касается гальванометра, то Фрелихъ, основываясь на работахъ Кирхгоффа и Ганземанна *), остановился на зеркальномъ астатическомъ гальванометрѣ Сименса и Гальске, который, по его мнѣнію, наиболѣе удовлетворяетъ требуемымъ условіямъ, а именно: при значительной и постоянной чувствительности онъ

*) Kirchhoff und Hansemann, Wied. Annal. IX, 1880.

довольно устойчивъ противъ случайныхъ сотрясеній и кромѣ того, къ немъ можно разсчитывать на достаточное постоянство нуля и строгую пропорціональность въ показаніяхъ.

Чувствительность въ гальванометрѣ можетъ быть достигнута при помощи астатической системы магнитныхъ стрѣлокъ или, при одномъ стержнѣ, посредствомъ установки вспомогательнаго магнита. Но въ послѣднемъ случаѣ нельзя разсчитывать на постоянство нуля и постоянство самой чувствительности.

Поэтому въ гальванометрѣ Сименса и Гальске вспомогательный стержень употребляется только для увеличенія или уменьшенія степени астатичности стрѣлки и для приведенія ея къ состоянію покоя.

Для ослабленія колебаній можно пользоваться вліяніемъ мѣдныхъ массъ, или сопротивленіемъ воздуха, какъ въ гальванометрѣ Томсона. Но послѣднее представляетъ то неудобство, что придатки, служащіе для ослабленія колебаній, выходятъ очень длинными въ сравненіи съ магнитнымъ стержнемъ; если къ тому же послѣдній очень легокъ, какъ въ приборѣ Томсона, то при сотрясеніяхъ могутъ происходить колебанія около горизонтальной оси.

Помощью термоэлектрическихъ актинометровъ также можно наблюдать по методу статическому или динамическому. Меллони и его послѣдователи обыкновенно прибѣгали къ методу динамическому, наблюдая отклоненіе стрѣлки гальванометра въ тотъ же самый моментъ, когда столбикъ предоставляется дѣйствію солнечныхъ лучей. По мнѣнію Фрелиха, такой пріемъ можетъ привести къ ошибкамъ, если крышка прибора не снимается довольно быстро, или когда стрѣлка раньше еще была въ движеніи. При всѣхъ своихъ наблюденіяхъ Фрелихъ выжидалъ около двухъ минутъ, пока стрѣлка не приходила въ стаціонарное состояніе.

При непрерывномъ измѣненіи источника теплоты, по наблюденіямъ Фрелиха, всегда замѣчается небольшое замедленіе въ

отклоненіи магнита гальванометра; поэтому вводится поправка, для полученія отклоненія, соотвѣтствующаго напряженію лучей въ данный моментъ.

Пусть s замѣчаемое отклоненіе, δ—логариѳмическій декрементъ столбика *), t—время наблюденія; тогда отклоненіе S, соотвѣтствующее напряженію лучей въ данный моментъ, выражается формулою: $S = s + \frac{1}{\delta} \cdot \frac{ds}{dt}$; откуда можно вычислить S, если δ предварительно извѣстно. Но при измѣреніи солнечной теплоты эта поправка пренебрегалась, а потому Фрелихъ отмѣчалъ отклоненія стрѣлки послѣ двухъ съ половиною минутъ.

Чтобы по возможности уменьшить вліяніе измѣненія сопротивленія цѣпи отъ измѣненія температуры, вводилось значительное количество нейзильбера; такъ при опредѣленіи солнечной теплоты нейзильберъ составлялъ $^{30}/_{31}$ всего сопротивленія цѣпи, а при нормальныхъ опредѣленіяхъ—половину всего сопротивленія.

Во время своихъ работъ Фрелихъ замѣтилъ одно странное явленіе, которое названо было имъ «отрицательной варіаціей». Это необъяснимое явленіе состоитъ въ томъ, что отклоненія стрѣлки гальванометра, подъ вліяніемъ источника теплоты, не стремились ассимптотически къ опредѣленной величинѣ: они достигали послѣ двухъ или трехъ минутъ максимума, затѣмъ переходили послѣдовательно черезъ тѣже самыя значенія. Обратно, съ прекращеніемъ теплового дѣйствія, отклоненія стрѣлки не стремились ассимптотически къ нулю; пройдя нуль, отклоненія становились отрицательными и по истеченіи пяти минутъ, достигнувъ минимума, стрѣлка снова возвращалась къ нулю. Такое анормальное отклоненіе подъ вліяніемъ источника теплоты не превышало одной сотой полнаго отклоненія; минимальное же отклоненіе доходило до нѣсколькихъ сотыхъ.

*) Т. е. коэффиціентъ охлажденія столбика, нагрѣтаго предварительно на одномъ изъ концевъ его.

Зависитъ ли указанное явленіе отъ молекулярныхъ дѣйствій употребляемыхъ металловъ или нѣтъ, неизвѣстно. Не будучи въ состояніи уничтожить это явленіе, Фрелихъ принялъ его во вниманіе и при измѣреніи теплового дѣйствія всегда отмѣчалъ максимумъ отклоненія стрѣлки, наступающій по истеченіи $2^1/_2$ минутъ.

Но при наблюденіяхъ необходимо имѣть въ виду еще одно обстоятельство, могущее влiять на показанія прибора. Дѣло въ томъ, что, не смотря на всѣ предосторожности, температура воды не бываетъ одною и тою же во всѣхъ частяхъ жестяного цилиндра. Вслѣдствіе этого въ термоэлектрическомъ столбикѣ появляются собственные токи, обязанные разности температуръ въ самомъ приборѣ. Когда измѣряется солнечная теплота, то, вслѣдствіе большого сопротивленія, эти собственные токи столбика могутъ быть пренебрегаемы; при нормальныхъ же опредѣленіяхъ они представляютъ одно изъ главнѣйшихъ затрудненій. Въ подобныхъ случаяхъ Фрелихъ никогда не подвергалъ столбика дѣйствію источника теплоты, прежде нежели его собственный токъ не становился постояннымъ.

При измѣреніи лучистой теплоты Фрелихъ пытался сперва принять за эталонъ какое либо раскаленное тѣло; но послѣ неудачныхъ попытокъ, онъ долженъ былъ прибѣгнуть къ пластинкѣ, нагрѣтой до 100°.

Съ этою цѣлью тонкая металлическая пластинка, одна сторона которой была покрыта лакомъ доктора Ашера, а другая—мѣломъ, безпрерывно орошалась токомъ водяного пара. Этотъ лакъ доктора Ашера, говоритъ Фрелихъ, имѣетъ хотя меньшую лучеиспускательную способность, чѣмъ сажа, но при этомъ лучше послѣдней удерживается, не измѣняясь отъ дѣйствія теплоты и времени. Одно только неудобство встрѣтилъ Фрелихъ при употребленіи пластинокъ, нагрѣтыхъ до 100°: при этомъ нуженъ чувствительный столбикъ, и потому нельзя вводить въ цѣпь большихъ сопротивленій. Но въ такомъ слу-

чаѣ возбуждаются собственные токи въ термоэлектрическомъ столбикѣ, вслѣдствіе неравномѣрнаго распредѣленія температуры въ оболочкѣ. Тогда нужно дѣлать довольно важныя поправки.

Для этого нужно послѣ каждаго наблюденія солнечной радіаціи производить сравнительныя измѣренія помощью пластинокъ. При этомъ весьма важно въ отдѣльности испытать чувствительность столбика и гальванометра, съ цѣлью опредѣлить могущія произойти измѣненія съ теченіемъ времени.

Чувствительность гальванометра въ опытахъ Фрелиха опредѣлялась всякій разъ при помощи четырехъ термоэлектрическихъ элементовъ: нейзильберъ—желѣзо и нейзильберъ—мѣдь. Спаи элементовъ приводились къ температурѣ тающаго льда и кипящей воды. Такъ какъ трудно допустить, чтобы оба эти прибора измѣнялись одинаково, поэтому, если отношеніе силъ оставалось постояннымъ, то, значитъ, и сами электровозбудительныя силы были постоянны.

ГЛАВА XIV.

Методъ Лангле.

§ 53 *Болометръ Лангле.* Въ декабрѣ 1880 года въ Американскомъ Метеорологическомъ Обществѣ сдѣланъ былъ докладъ директоромъ Аллеганской обсерваторіи Лангле*) объ устроенномъ имъ приборѣ, для измѣренія нагрѣвательной способности лучей различной преломляемости и опредѣленія для каждаго изъ нихъ коэффиціента прозрачности атмосферы.

Распредѣленіе энергіи въ солнечномъ спектрѣ, говоритъ Лангле, представляетъ собою одинъ изъ важнѣйшихъ вопросовъ; рѣшить его, это значитъ узнать распредѣленіе всей энергіи, въ силу которой существуетъ и дѣйствуетъ все живое въ природѣ.

*) Annales de Chimie et de Physique 1881. 5 série, t. 24, p. 275.

Но единственное средство познать законы распредѣленія этой энергіи состоитъ въ точномъ измѣреніи тепловыхъ дѣйствій спектра, такъ какъ солнечная энергія, передаваемая намъ въ видѣ свѣтовыхъ или химическихъ дѣйствій, не можетъ быть выражена съ такою же точностью въ абсолютныхъ единицахъ.

Между тѣмъ въ призматическомъ спектрѣ тепловое напряженіе настолько слабо, что почти невозможно его въ точности измѣрить; кромѣ того въ призматическомъ спектрѣ измѣренія подвержены грубымъ ошибкамъ.

Гораздо болѣе драгоцѣнны тепловыя измѣренія въ диффракціонномъ спектрѣ.

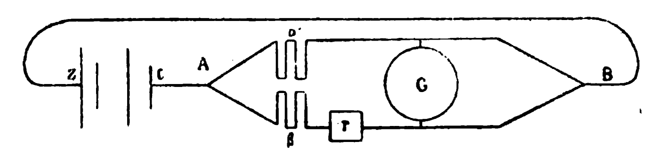
«Послѣ долгаго изученія», продолжаетъ Лангле, «я познакомился съ многочисленными предосторожностями, необходимыми для того, чтобы приложить термоэлектрическій столбикъ къ измѣренію очень слабой радіаціи; я дѣлалъ всевозможныя попытки къ измѣренію теплоты въ спектрѣ диффракціи при помощи наиболѣе чувствительныхъ приборовъ; я примѣнилъ къ этой работѣ опытъ, который пріобрѣлъ въ теченіе многихъ лѣтъ, посвященныхъ этого рода изслѣдованіямъ. Тѣмъ не менѣе я не буду утѣшать себя надеждою на успѣхъ тамъ, гдѣ другіе потерпѣли неудачу. Правда, я обнаружилъ теплоту въ различныхъ частяхъ спектра диффракціи, и эта теплота измѣрялась до извѣстной степени; но я не могъ бы сказать, что измѣрилъ ее въ истинномъ значеніи этого слова, и я убѣжденъ, что точное измѣреніе невозможно, безъ приборовъ, отличающихся наибольшею чувствительностью и точностью».

Эти соображенія заставили Лангле посвятить почти цѣлый годъ на устройство чрезвычайно чувствительнаго прибора для измѣренія лучистой энергіи.

Приборъ Лангле, названный имъ болометромъ, основанъ на слѣдующемъ принципѣ. Если двѣ металлическія проволоки, проводящія токи одинаковой силы, встрѣчаются въ соотвѣт-

ственно устроенномъ гальванометрѣ, то стрѣлка, подъ вліяніемъ равныхъ и противоположныхъ силъ, остается въ покоѣ. Если же нагрѣть одну изъ проволокъ, то сила проходящаго по ней гальваническаго тока уменьшается, между тѣмъ сила другого остается безъ измѣненія. Тогда стрѣлка гальванометра отклоняется силою, равною разности обоихъ токовъ и въ тоже время пропорціональною первоначальному ихъ напряженію, а также радіаціи, вызвавшей нагрѣваніе проволоки.

Такимъ образомъ принципъ болометра основанъ на измѣненіи сопротивленія, оказываемаго гальваническому току, при нагрѣваніи проволоки. Чтобы сдѣлать проволоку, по которой течетъ токъ, наиболѣе способною быстро терять и получать теплоту, необходимо ее сплющить; этимъ способомъ можно значительно увеличить ея поверхность, при той же площади поперечнаго сѣченія. Теоретическое расположеніе проволокъ представлено на фигурѣ 5.



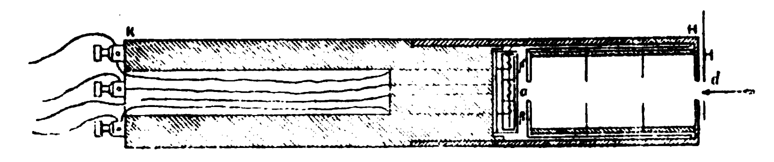
Фиг. 5.

Токъ, идущій отъ баттареи, раздѣляется на двѣ вѣтви въ точкѣ A: одна вѣтвь содержитъ извѣстное число параллельныхъ полосъ (α), другая—такое же число параллельныхъ полосъ (β) (въ приборѣ Лангле вѣтви (α) и (β) очень сближены); обѣ эти вѣтви образуютъ двѣ стороны мостика Витстона. Въ нѣкоторомъ разстояніи отъ α и β помѣщенъ весьма чувствительный гальванометръ G; реостатъ r служитъ для компенсаціи токовъ.

Вѣтви α и β составлены изъ металлическихъ лентъ, чрезвычайно тонкихъ, благодаря плющенію, а также химическимъ и электрическимъ дѣйствіямъ. Металлы, которые Лангле преиму-

щественно употреблялъ, были: золото, мѣдь, олово, желѣзо, сталь, платина и палладіумъ. Три послѣдніе металла дали наилучшіе результаты. Изъ этихъ металловъ, помощью спеціальнаго пресса, приготовлялись чрезвычайно тонкіе листы, толщиною въ 0.002 мм., такъ что 12000 такихъ листовъ составляли слой, толщиною не́ болѣе одного англійскаго дюйма.

Эти листы разрѣзывались на полоски, длиною въ 5.5 мм. и шириною въ 0.5 мм. Двадцать такихъ полосокъ, расположенныхъ рядомъ, составляли вѣтвь болометра (α); вѣтвь (β) также составлялась изъ двадцати подобныхъ полосокъ; но расположеніе послѣднихъ на самомъ дѣлѣ было иное, чѣмъ указано на схемѣ. Вѣтвь (β) состояла изъ двухъ частей, расположенныхъ по обѣ стороны (α), какъ показано на фигурѣ 6.



(Болометръ въ 1/3 натуральной величины).

Фиг. 6.

Вся эта система заключена въ цилиндръ, изъ непроводниковъ теплоты и съ крышкою, имѣющею діафрагму. Вѣтвь α расположена противъ щели, на оси цилиндра; части же вѣтви β—по обѣ стороны отъ α, такъ что лучи могутъ падать исключительно на вѣтвь α.

Такимъ образомъ, когда приборъ закрытъ крышкою, то измѣненія температуры окружающаго воздуха одинаково вліяютъ на незащищенныя части проволокъ, и стрѣлка гальванометра остается въ покоѣ. Но если открыть діафрагму d, то солнечные лучи будутъ нагрѣвать только вѣтвь α, и стрѣлка гальванометра измѣнитъ свое положеніе.

Приборъ Лангле дѣйствуетъ мгновенно, такъ что для обнаруженія теплоты требуется не болѣе одной секунды.

При помощи болометра могутъ быть обнаружены самые ничтожные признаки тепловой энергіи, такъ какъ приборъ въ высшей

степени чувствителенъ. Лангле полагаетъ, что отклоненіе стрѣлки гальванометра можетъ послѣдовать даже въ томъ случаѣ, когда температурная разность вѣтвей не будетъ превышать 0.00001°С. По его мнѣнію, въ болометрѣ можетъ быть наблюдаемо отклоненіе стрѣлки даже при такой ничтожной радіаціи, которая въ состояніи расплавить одинъ киллограммъ льда въ 1000 лѣтъ. Благодаря столь чувствительному прибору, Лангле изучилъ распредѣленіе энергіи въ спектрѣ диффракціи и произвелъ цѣлый рядъ весьма интересныхъ наблюденій на Аллеганахъ и на вершинѣ Уитней.

§ 54. *Спектро-болометръ Лангле.* Для изслѣдованія призматическаго спектра Лангле пользовался такъ называемымъ спектро-болометромъ. Наблюденія помощью этого прибора производились слѣдующимъ образомъ.

Солнечные лучи, отраженные горизонтально зеркаломъ большого сидеростата Фуко, проходили черезъ отверстіе, сдѣланное въ сѣверной стѣнѣ Аллеганской обсерваторіи, и падали на щель, ширина которой регулировалась микрометрическимъ винтомъ *). Въ разстояніи 4,5 метра отъ этой щели находилась особаго рода флинтгласовая чечевица коллиматора L, прозрачная почти для всѣхъ невидимыхъ лучей. Щель и чечевица находились на оконечностяхъ трубы Т, длина которой равна была главному фокусному разстоянію этой линзы. По выходѣ изъ коллиматора лучи становились параллельными и падали на призму того же самаго стекла, какъ и линза. Двѣ длинныя рукоятки АА' могли вращаться независимо одна отъ другой на вертикальной оси, при чемъ образуемый ими уголъ измѣрялся посредствомъ раздѣленнаго круга съ ноніусомъ, съ приближеніемъ до 10″. Одна изъ этихъ рукоятокъ направлялась къ щели, а другая къ спектру, получаемому при выходѣ лучей изъ призмы. На оконечности этой послѣдней рукоятки находилось вогнутое зеркало

---

*) S. P. Langley: «Researches on solar heat». Chapter XI. The spectro-bolometer, p. 129.

М, съ главнымъ фокуснымъ разстояніемъ въ 0.98 м., и сверхъ того по обѣ стороны призмы плоскія линейки, направленныя къ центру зеркала. На одной изъ этихъ линеекъ находилось два эбонитовыхъ цилиндра, изъ которыхъ одинъ содержалъ болометръ, а другой—окуляръ съ перекрестными нитями.

Въ употребляемомъ для этихъ измѣреній болометрѣ къ призмѣ обращена была одна только вертикальная платиновая нить, $^1/_5$ миллим. въ діаметрѣ, покрытая сажею и помѣщенная на самой оси эбонитоваго цилиндра.

ГЛАВА XV.

Регистрирующіе актинометры.

§ 55. *Актинографъ Ришара.* На принципѣ Араго основано устройство самопишущаго актинометра Ришара*), состоящаго изъ двухъ термометровъ съ мѣдными сферическими резервуарами, заключенными въ стеклянныя оболочки, лишенныя воздуха.

Термометрическіе резервуары, служащіе въ приборѣ пріемниками теплоты, поглощаютъ солнечную радіацію не въ одинаковой степени, такъ какъ поверхность одного шарика вычернена, а другого—покрыта серебромъ и отполирована. Оба шарика поддерживаются очень тонкими трубками, изъ которыхъ каждая сообщается съ особою металлическою трубкою, аналогичною той, какая принята въ регистрирующемъ актинометрѣ Ришара.

Резервуары и термометрическія трубки наполнены алкоголемъ. Отъ нагрѣванія шариковъ солнечными лучами жидкость болѣе или менѣе расширяется, вслѣдствіе чего происходитъ

*) Alfred Angot: «Sur les nouveaux instruments enregistreurs de M. M. Richard frères».

измѣненіе кривизны металлическихъ трубокъ, и движенія послѣднихъ передаются, посредствомъ системы рычаговъ, перьямъ, которыя вычерчиваютъ на вращающемся барабанѣ двѣ кривыя.

Кромѣ того приборъ содержитъ въ себѣ еще цѣлую систему трубокъ, чтобы устранить вліяніе измѣненій температуры окружающаго воздуха.

Такимъ образомъ въ актинографѣ Ришара, какъ и въ актинометрѣ Араго, напряженіе солнечной радіаціи опредѣляется разностью температуръ двухъ термометровъ. Чтобы выразить солнечную теплоту въ абсолютныхъ единицахъ, необходимо приборъ градуировать при помощи какого-либо актинометра, допускающаго абсолютныя измѣренія солнечной радіаціи.

Подобное градуированіе актинографа Ришара, при помощи ртутнаго пиргеліометра Крова съ чугунною коробкою, произведено было во время лѣтнихъ наблюденій, предпринятыхъ метеорологическою обсерваторіею Петровской Академіи, въ 1889 году *).

§ 56. *Регистрирующій приборъ Ангстрема.* Приборъ Ангстрема представляетъ дифференціальный термометръ, утвержденный на вертикальной оси P. Мѣдные шарики этого прибора, содержащіе воздухъ, сообщаются между собою посредствомъ двухколѣнной стекляной трубки, въ которой находится ртутный индексъ. Въ нѣкоторомъ удаленіи отъ этого индекса, по обѣ стороны отъ него, изъ стекляной трубки выходятъ двѣ изолированныя платиновыя проволоки L и M и входятъ въ небольшое кольцо, также изолированное, окружающее ось P. Неподвижная пружина S нажимаетъ на это кольцо, а потому можетъ быть въ сообщеніи съ одною или съ другою платиновою проволокою.

Большой круглый экранъ можетъ быть передвигаемъ вдоль двухъ желѣзныхъ стержней, расположенныхъ параллельно зем-

*) Актинометрическія наблюденія на Метеорологической Обсерваторіи Петровской Академіи. Статьи профессора Колли и гг. Мышкина и Казина.

ной оси, почему въ теченіе цѣлаго дня можетъ защищать одинъ изъ двухъ термометрическихъ шариковъ.

Пусть въ данный моментъ экранъ защищаетъ шарикъ B, и пружина S находится въ сообщеніи съ проволокою M. При дѣйствіи солнечныхъ лучей шарикъ A нагрѣвается, вслѣдствіе чего расширившійся воздухъ передвигаетъ индексъ къ шарику B, и при извѣстномъ избыткѣ температуры индексъ приходитъ въ соприкосновеніе съ проволокою M. Тогда происходитъ замыканіе гальваническаго тока, вслѣдствіе чего электромагнитъ притягиваетъ якорь, задерживающій ось P, которая такимъ образомъ освобождается и, подъ вліяніемъ опускающагося груза, начинаетъ вращаться. Но въ тоже время нарушается соприкосновеніе между пружиною S и проволокою M; токъ прерывается, якорь приходитъ въ прежнее положеніе, и ось P, сдѣлавъ полуоборотъ, вновь задерживается. Тогда шарикъ A перейдетъ въ тѣнь, шарикъ B начнетъ нагрѣваться на солнцѣ и т. д.

Если въ теченіе времени t приборъ сдѣлалъ n оборотовъ, то $T=\frac{t}{n}$; вставляя значеніе T въ извѣстную уже намъ формулу *), получимъ $Q=ck.\frac{n}{t}$.

Для регистрированія служитъ вращающійся вокругъ вертикальной оси цилиндръ, на поверхности котораго опускающійся при помощи гири штифтъ чертитъ кривую линію.

Такимъ образомъ за ось абсциссъ принимается прямая, параллельная образующей цилиндра, а за ось ординатъ—линія, къ ней перпендикулярная. Такъ какъ абсцисса x и ордината y для каждой точки пропорціональны t и n, то $Q=C_1\frac{dy}{dx}$, т. е. радіація въ данный моментъ пропорціональна тангенсу угла касательной къ кривой въ данной точкѣ съ осью x; все же количество теплоты, полученной въ теченіе извѣстнаго времени,

---

*) См. стр. 117.

$\sum Q = C_2(y - y_1)$, т. е. пропорціонально разности ординатъ, соотвѣтствующихъ началу и концу даннаго промежутка времени. Постоянныя C_1 и C_2 могутъ быть опредѣлены посредствомъ прибора, служащаго для абсолютныхъ измѣреній.

Сравненіемъ полученныхъ результатовъ съ абсолютными измѣреніями, Ангстремомъ было найдено, что $C_1 = 0.46$ и $C_2 = 2{\cdot}42$.

§ 57. *Регистрирующій приборъ Крова.* При устройствѣ своего прибора Крова *) имѣлъ въ виду, что регистрирующій актинометръ долженъ мгновенно воспринимать самыя быстрыя измѣненія солнечной радіаціи, а для этого онъ долженъ имѣть по возможности малую массу и весьма незначительную теплоемкость. Этимъ условіямъ наиболѣе удовлетворяетъ болометръ Лангле; но онъ не удобенъ, по мнѣнію Крова, для регистрированія, такъ какъ при этомъ требуется, чтобы напряженіе тока въ теченіе долгаго времени оставалось постояннымъ, на что невозможно разсчитывать.

Термоэлектрическій столбикъ Дезена Крова также находитъ неудобнымъ для непрерывнаго регистрированія, въ виду того, что солнечные лучи могутъ проникать въ промежутки между элементами, или же поглощаться изолирующимъ слоемъ, при значительной теплоемкости котораго не могутъ быть обнаружены быстрыя тепловыя измѣненія.

Термоскопическіе приборы, основанные на расширеніи газовъ, имѣютъ очень большую массу и, слѣдовательно, замедляютъ свои показанія; кромѣ того, они обыкновенно занимаютъ много мѣста, а потому ихъ не легко защитить отъ дѣйствія постороннихъ лучей и воздушныхъ токовъ.

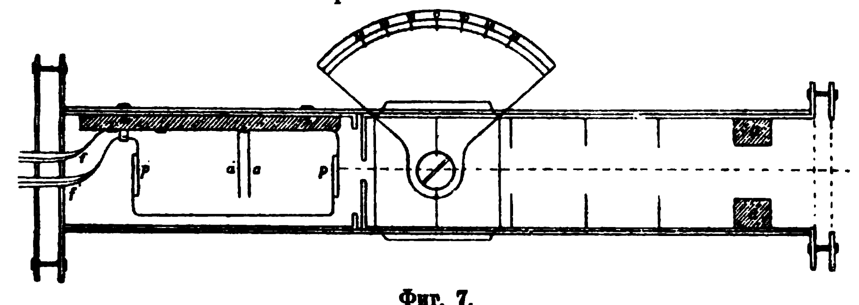
Желая избѣжать указанныя здѣсь неудобства, Крова слѣдующимъ образомъ построилъ регистрирующій актинометръ. Существенную часть прибора составляетъ термоэлектрическій

---

*) Crova: «Sur l'enregistrement de l'intensité calorifique de la radiation solaire». Annales de chimie et de physique 1888. t. XIV, 6 série, p. 121.

элементъ: желѣзо-нейзильберъ *). Каждый спай имѣетъ форму диска 10 мм. въ діаметрѣ и толщиною въ 0.1 миллиметра. Оба диска, желѣзный и нейзильберовый, спаиваются оловомъ и потомъ подвергаются сильному сжатію, чтобы по возможности уменьшить слой олова, который въ такомъ случаѣ, на основаніи закона Беккереля, не можетъ вліять на электровозбудительную силу элемента. Каждый такой дискъ продолжается узкою металлическою лентою, чтобы установить связь между спаями и гальванометромъ, какъ это показано на фигурѣ 7, гдѣ p и p′—два спая, f и f′—проволоки. Теплоемкость каждаго спая легко опредѣляется изъ размѣровъ и теплоемкостей составляющихъ его тѣлъ. Въ приборѣ Крова вѣсъ спая равенъ 0.333 грамма и теплоемкость его 0.034.

Диски устанавливаются въ латунной трубкѣ такимъ образомъ, что на p падаютъ нормально солнечные лучи, между тѣмъ p′ остается въ тѣни и защищается отъ перваго спая двойнымъ аллюминіевымъ экраномъ a и a′.



Фиг. 7.

Конецъ трубки со стороны спая p′ герметически закрывается двойною никкелированною діафрагмою, черезъ которую проходятъ проволоки, изолированныя чернымъ каучукомъ.

Для предохраненія актинометрическаго элемента отъ вліянія вѣтра, приборъ устроенъ такъ, что солнечные лучи, падающіе на передній дискъ, предварительно проходятъ черезъ цѣлый

*) Элементъ сначала состоялъ изъ желѣза и мѣди (Comptes Rendus, t. CI, p. 418, 1885), но вскорѣ Крова замѣнилъ его элементомъ: желѣзо-нейзильберъ, котораго электровозбудительная сила почти въ два раза больше (Comptes Rendus, t. CIV, p. 123, 1887).

рядъ аллюминіевыхъ діафрагмъ, толщиною въ 0.1 мм., полированныхъ со стороны, обращенной къ солнцу и вычерненныхъ съ противоположной. Эти діафрагмы, числомъ семь, имѣютъ круглыя отверстія, при чемъ крайнее отверстіе имѣетъ въ діаметрѣ 16.5 мм., а самое близкое къ элементу отверстіе имѣетъ 4 мм. въ діаметрѣ. Центры всѣхъ отверстій расположены на оси актинометра, въ равномъ удаленіи другъ отъ друга, такъ что составляется конусъ, коего уголъ при вершинѣ равенъ 5°40′.

Такое расположеніе діафрагмъ, аналогичное принятому Лангле при устройствѣ болометра, основано на принципѣ пневматической машины Делейля (à piston libre): скорость воздушнаго потока, послѣдовательно вступающаго въ различныя камеры, постепенно уменьшается до нуля. По словамъ Крова, этимъ устройствомъ совершенно уничтожается охлаждающее вліяніе вѣтра. Такъ онъ нерѣдко замѣчалъ, что въ тихіе дни кривыя представляли довольно рѣзкія колебанія, и напротивъ, во время сильныхъ вѣтровъ обнаруживали наиболѣе правильный ходъ.

Вслѣдствіе того, что діаметры отверстій увеличиваются съ разстояніемъ отъ актинометрическаго диска, поперечное сѣченіе солнечнаго пучка на элементѣ не измѣняется, когда ось прибора не строго направлена къ центру солнца.

Трубка, содержащая актинометръ, а также и та, въ которой помѣщены діафрагмы, плотно входятъ въ третью латунную никкелированную трубку, которая можетъ вращаться вокругъ поперечной оси, проходящей черезъ ея центръ. Послѣдняя трубка снабжена алидадою, которая перемѣщается по сектору, раздѣленному отъ 0° до 23°, по одну и по другую сторону отъ экваторіальнаго направленія, сообразно съ годовымъ измѣненіемъ солнечнаго склоненія.

Весь приборъ насаживается на ось, которая направлена по оси міра и снабжена алидадою. Послѣдняя же движется по

экваторіальному кругу, раздѣленному на 24 часа и наклоненному къ горизонту на уголъ, равный дополненію широты мѣста.

Приборъ оріентируется такимъ образомъ, что алидада сектора устананавливается по склоненію солнца, другой же алидадѣ придается на экваторіальномъ кругѣ положеніе, соотвѣтствующее истинному солнечному времени въ данный моментъ. Тогда ось актинометра будетъ прямо направлена къ центру солнца, и положеніе ея относительно солнца не измѣнится въ продолженіе цѣлаго дня, если только алидадѣ сообщить по экваторіальному кругу движеніе, тождественное съ видимымъ движеніемъ солнца.

Актинометрическій элементъ долженъ быть обращенъ къ солнцу вычерненною нейзильберовою поверхностью; остальная же часть элемента должна быть покрыта лакомъ, для предохраненія отъ вреднаго вліянія влажнаго воздуха. При этомъ лучи должны падать не на всю поверхность диска, а только на среднюю его часть, такъ какъ въ противномъ случаѣ они будутъ проникать и въ актинометрическую трубку, позади элемента. Если же выставить на солнце вычерненную желѣзную поверхность диска, то послѣдняя будетъ подвергаться сильному окисленію, такъ какъ сажа, по своей гигроскопичности, легко сгущаетъ водяные пары. Образующаяся окись, покрытая сажею, не видима, но она служитъ препятствіемъ при передачѣ солнечной теплоты. Между тѣмъ ничего подобнаго не замѣчается на нейзильберовой поверхности.

Наконецъ отъ времени до времени необходимо возобновлять слой сажи, такъ какъ она отъ атмосферной пыли принимаетъ сѣрый цвѣтъ. Эта операція дѣлается очень легко: вынувъ трубку съ элементомъ изъ оправы, слегка вытираютъ вычерненную поверхность и потомъ проводятъ по ней пламя свѣчи до тѣхъ поръ, пока поверхность не приметъ однообразный черный оттѣнокъ.

Оріентируемый указаннымъ образомъ актинометръ устанавливается обыкновенно на крышѣ зданія, непосредственно надъ тою темною комнатою, гдѣ производится регистрированіе.

Чтобы сообщить прибору требуемое движеніе, Крова примѣнилъ часы такого же устройства, какіе приняты Маскаромъ *) для фотографическаго регистрированія атмосфернаго электричества и земного магнетизма. Часы эти помѣщаются въ той же темной комнатѣ и, вслѣдствіе небольшого приспособленія, введеннаго Крова, могутъ выполнять двойную функцію: опускать фотографическую раму передъ горизонтальною щелью, со скоростью одного сантиметра въ часъ, и въ тоже время сообщать актинометру угловую скорость, равную скорости видимаго движенія солнца.

Токъ, возбуждающійся въ актинометрической парѣ, передается астатическому гальванометру слабаго сопротивленія, при помощи изолированнаго кабля, обладающаго очень большою проводимостью.

Лучи газовой лампы, параллельно распространяющіеся, вслѣдствіе прохожденія черезъ систему собирательныхъ стеколъ, падаютъ на вертикальную щель, которая находится въ главномъ фокусѣ чечевицы, установленной противъ плоскаго зеркала, находящагося на стрѣлкѣ гальванометра. Вслѣдствіе отраженія этихъ лучей отъ зеркала, на горизонтальномъ прорѣзѣ, сдѣланномъ въ стѣнкѣ часового ящика, получается свѣтлая точка, которая при отклоненіяхъ стрѣлки гальванометра перемѣщается горизонтально, и такъ какъ позади стѣнки ящика часовой механизмъ опускаетъ фотографическую раму со скоростью 1 сантиметра въ часъ, то на чувствительной бумагѣ получается актинометрическая кривая.

Крова пытался примѣнить аперіодическій гальванометръ Deprez-d'Arsonval; но чувствительность его оказалась недостаточною. Тогда онъ воспользовался методомъ, принятымъ Том-

*) Cours élémentaire d'Astronomie de Delaunay.

сономъ при устройствѣ морского гальванометра, съ тѣмъ лишь различіемъ, что замѣнилъ толстую арматуру желѣзнаго успокоителя системою оболочекъ изъ тонкихъ желѣзныхъ листовъ.

Чтобы приготовить приборъ къ регистрированію, нужно наканунѣ вечеромъ установить актинометръ соотвѣтственно склоненію солнца и истинному солнечному времени, при чемъ приподнять раму на такую высоту, чтобы нижній конецъ фотографической бумаги былъ противъ горизонтальной щели за два или за три часа до восхода солнца; тогда получается до восхода и послѣ заката солнца ось абсциссъ, или нулевая линія.

Въ Россіи актинографъ Крова функціонировалъ въ Кіевѣ, гдѣ г. Савельевъ установилъ этотъ приборъ въ зданіи, принадлежащемъ управленію юго-западныхъ желѣзныхъ дорогъ. Актинографъ г. Савельева началъ правильно функціонировать съ іюня 1890 года *).

Фрелихъ (Meteor. Zeitschr. 1888, № 10, p. 385) указываетъ на то, что въ актинометрѣ Крова задній спай во время наблюденій долженъ подвергаться измѣненіямъ температуры отъ дѣйствія вѣтра. Но г. Савельевъ говоритъ, что даже во время мятелей снѣгъ никогда не проникалъ далѣе половины трубы съ діафрагмами, защищающими термоэлектрическій элементъ отъ вѣтра, и что поэтому, по всей вѣроятности, въ концѣ трубки скорость движенія воздуха даже во время сильныхъ вѣтровъ бываетъ лишь весьма незначительною.

Вмѣстѣ съ тѣмъ необходимо имѣть въ виду измѣненіе электровозбудительной силы, а также лучеиспускательной способности вычерненной поверхности съ измѣненіемъ температуры, колеблющейся въ теченіе года болѣе, чѣмъ на 40° **).

---

*) Результаты актинометрическихъ наблюденій въ 1890 г. въ г. Кіевѣ.

**) Изъ опытовъ Кольрауша и Аммана слѣдуетъ, что измѣненіе

ГЛАВА XVI.

Общее заключеніе.

§ 58. Основная задача актинометріи, какъ мы видѣли, состоитъ въ измѣреніи количества энергіи, идущей непосредственно отъ солнца и падающей въ единицу времени на единицу поверхности, перпендикулярной къ направленію лучей. Выражая тепловое напряженіе лучей въ абсолютныхъ единицахъ или въ какой либо относительной мѣрѣ, мы стремимся по возможности точно опредѣлить измѣряемую энергію; между тѣмъ существуетъ цѣлый рядъ причинъ, указывающихъ на чрезвычайную трудность этой задачи.

Съ тѣхъ поръ, какъ Ньютонъ пытался помощью особаго термометра опредѣлить температуру солнца, до настоящаго времени предложено весьма много приборовъ, долженствующихъ тѣмъ или другимъ методомъ измѣрять солнечную радіацію, а между тѣмъ только немногіе изъ нихъ выдерживаютъ серіозную критику.

Прежде всего должны быть совершенно оставлены, какъ ненадежные, всѣ тѣ приборы, въ которыхъ лучи пропускаются черезъ стеклянныя пластинки, такъ какъ послѣднія поглощаютъ значительную часть теплоты и при томъ не въ одинаковой степени, при различной высотѣ солнца. Поэтому результаты наблюденій Форбса, Кемца, Кетле и даже Эриксона не могутъ имѣть строго-научнаго значенія. По той же причинѣ не сравнимы также показанія приборовъ Араго-Дави, такъ какъ различные роды стеколъ производятъ неодинаковое поглощеніе. Далѣе стеклянная оболочка, нагрѣваясь, дѣлается сама источникомъ радіаціи;

электровозбудительной силы термоэлемента желѣзо-нейзильберъ составляетъ около 0.16% на 1°C.

Pogg. Ann., 141, p. 459.

Хвольсонъ, совр. сост. актин., стр. 223.

къ тому же внутренняя поверхность стеклянной оболочки, вѣроятно, подобно вогнутому зеркалу, отражаетъ часть лучей обратно на шарикъ термометра.

Полированныя пластинки изъ каменной соли, благодаря своей теплопрозрачности, не представляютъ такихъ неудобствъ, какъ стеклянныя; но полировка такихъ пластинокъ съ теченіемъ времени подвергается измѣненіямъ.

Всѣ остальные приборы, въ которыхъ солнечные лучи не проходятъ черезъ какой либо поглощающій слой, а свободно проникаютъ къ измѣрителю теплоты, различаются между собою конструкціею тѣлъ, воспринимающихъ теплоту, или же устройствомъ защищающихъ актинометръ отъ внѣшнихъ вліяній оболочекъ.

Тѣлами, предназначенными поглощать тепловые лучи, въ различныхъ приборахъ служатъ: вычерненное основаніе металлическаго цилиндра, передающаго теплоту посредствомъ воды или ртути термометру; вычерненный шарикъ ртутнаго термометра; вычерненная металлическая пластинка, передающая теплоту термоэлементу; вычерненная поверхность термоэлемента; вычерненная металлическая проволока, измѣняющая при нагрѣваніи свое сопротивленіе гальваническому току.

Нормальный измѣритель теплоты долженъ удовлетворять слѣдующимъ условіямъ:

1. Онъ долженъ быть весьма чувствительнымъ къ быстрымъ измѣненіямъ температуры, т. е., при незначительной теплоемкости, долженъ имѣть по возможности большую поверхность, воспринимающую теплоту, которая при этомъ должна быстро и равномѣрно распредѣляться по всему нагрѣвающемуся тѣлу. Роль эту лучше всего могутъ выполнять однородныя металлическія пластинки, какъ напримѣръ въ приборѣ Ангстрема.

Приборы, въ которыхъ солнечные лучи непосредственно воспринимаются шарикомъ термометра, этому условію не удовлетворяютъ, такъ какъ передача температурныхъ измѣненій за-

медляется стекляною оболочкою. Напротивъ, въ болометрѣ Лангле самое ничтожное количество теплоты дѣйствуетъ мгновенно; также и въ актинометрѣ Ангстрема стрѣлка аперіодическаго гальванометра въ тотъ же моментъ приходитъ въ движеніе, лишь только измѣняется положеніе экрана. Въ то время, какъ болометръ Лангле принимаетъ стаціонарную температуру черезъ 1 или 2 минуты, актинометръ Віоля требуетъ для этого 20 или болѣе минутъ.

2. Поверхность, непосредственно воспринимающая теплоту, должна быть вычернена. Но простой слой сажи, по изложеннымъ выше причинамъ, оказывается непригоднымъ; гораздо лучше покрывать слоемъ платиновой черни, какъ это дѣлаетъ Крова.

Вообще нужно имѣть въ виду, что испускательная способность чернаго слоя подвержена различнымъ измѣненіямъ. Лангле замѣтилъ весьма правильное и значительное измѣненіе лучеиспускательной способности чернаго слоя въ теченіе каждаго дня; подобное же явленіе наблюдалъ и проф. Хвольсонъ. Практическая актинометрія, безъ сомнѣнія, выработаетъ раціональный способъ приготовленія поглощающаго слоя, наиболѣе устойчиваго противъ механическихъ и физическихъ измѣненій.

Но помимо измѣненій, зависящихъ отъ свойствъ самой поверхности, лучеиспускательная способность зависитъ также отъ разности температуръ тѣла и окружающаго пространства и сверхъ того отъ абсолютной температуры нагрѣвающагося тѣла; послѣднее измѣненіе достигаетъ 1% на 1°Ц

3. Въ приборахъ, предназначенныхъ для абсолютныхъ измѣреній, теплоемкость калориметра, а также величина поглощающей поверхности должны опредѣляться легко и по возможности точно. Этимъ условіямъ, какъ мы видѣли, наиболѣ удовлетворяетъ актинометръ Ангстрема, отчасти Пулье, наименѣе— Віолля и вообще тѣ, у которыхъ солнечные лучи непосредственно падаютъ на шарикъ термометра.

4. Шкала должна быть устроена такимъ образомъ, чтобы возможно было производить отсчеты съ наибольшею точностью. Въ пиргеліометрѣ, которымъ пользовались Бартоли и Страчіати, отсчеты, при помощи подвижнаго телескопа, дѣлались съ точностью до $^1/_{1000}$ градуса; такая же точность можетъ быть достигнута при измѣреніи угловъ отклоненія стрѣлки гальванометра.

Наконецъ актинометры различаются между собою устройствомъ предохранительныхъ оболочекъ. Температура свободной поверхности тѣла, на которую падаютъ солнечные лучи, подвержена вліянію даже самаго слабаго вѣтра. Вотъ почему уже первые изслѣдователи солнечной радіаціи старались предохранить свои приборы отъ воздушныхъ токовъ оболочками, удерживающими постоянную температуру.

Такъ извѣстна попытка Пулье воспользоваться для этой цѣли цилиндромъ съ двойными стѣнками. Такой же двойной цилиндръ примѣненъ былъ къ актинометрамъ Секки и Соре, при чемъ въ приборѣ Секки между стѣнками наливалась вода, въ приборѣ Соре циркулировалъ водяной токъ. Віолль и Крова вмѣсто цилиндра употребляютъ сферическія оболочки, при чемъ въ приборѣ Віолля также циркулируетъ водяной токъ.

Дезенъ защищалъ свой термоэлектрическій столбикъ двойною трубкою; Фрелихъ помѣщалъ трубку, заключающую термоэлектрическій столбикъ, въ жестяной цилиндръ, въ которомъ циркулировалъ водяной токъ постоянной температуры. Розетти помѣщалъ столбикъ въ центрѣ латунной клѣтки съ двойными стѣнками, а Лангле защищаетъ свой болометръ цилиндромъ, сдѣланнымъ изъ непроводника.

Оболочка съ постоянною температурою имѣетъ назначеніе предохранять калориметръ отъ всѣхъ температурныхъ измѣненій, независящихъ отъ непосредственнаго дѣйствія солнечныхъ лучей на заключенное внутри ея тѣло. Но въ этомъ случаѣ мы встрѣчаемся съ цѣлымъ рядомъ причинъ, вслѣдствіе которыхъ

подобныя оболочки почти совсѣмъ не достигаютъ своего назначенія. Удерживать постоянную температуру такихъ оболочекъ весьма затруднительно, и кромѣ того сильное охлажденіе оболочки, сравнительно съ наружнымъ воздухомъ, должно вызывать значительный осадокъ водяныхъ паровъ во внутреннемъ пространствѣ.

Если бы возможно было пользоваться оболочками вполнѣ замкнутыми, то мы могли бы, разрѣжая въ нихъ воздухъ, точнѣе примѣнять эмпирическіе законы охлажденія Дюлонга и Пти, а также Стефана; но примѣненіе въ этомъ случаѣ стеклянныхъ или даже соляныхъ пластинокъ, какъ мы видѣли, невозможно.

Такимъ образомъ оболочки должны имѣть отверстія для прохожденія солнечныхъ лучей, а вслѣдствіе этого невозможно вполнѣ исключить вліяніе воздушныхъ токовъ, проникающихъ вовнутрь. Лангле и Крова пытались преградить доступъ воздушнымъ токамъ къ измѣрителю теплоты цѣлою системою діафрагмъ, пользуясь принципомъ Делейля. Въ приборахъ Фрелиха и Дезена воздушные токи, распространяющіеся по оси трубы, заключающей измѣритель теплоты, въ значительной степени ослабляются тѣмъ, что термоэлектрическій столбикъ непосредственно прикрѣпленъ къ задней стѣнкѣ, а боковые токи перехватываются діафрагмою.

Что же касается діаметра отверстія, то въ оболочкахъ, заключающихъ термометрическій шарикъ, онъ долженъ быть меньше діаметра послѣдняго, такъ какъ краевые лучи вообще подвержены сильному отраженію.

Другой немаловажный источникъ ошибокъ можетъ представить задвижка, температура которой вообще можетъ отличаться отъ температуры прочихъ частей оболочки. Въ этомъ отношеніи предосторожность принята только Фрелихомъ, въ приборѣ котораго между двойными стѣнками крышки также циркулируетъ водяной токъ.

Въ послѣднее время Вартоли и Страчіати примѣнили подобную крышку и къ пиргеліометру Пулье, который такимъ образомъ можетъ быть совершенно защищеннымъ двойными стѣнками, орошаемыми водою.

Такимъ образомъ употребленіе предохранительныхъ оболочекъ весьма затруднительно и едва-ли достигаетъ своего назначенія.

Въ новѣйшее время Ангстремъ предложилъ методъ актинометрическихъ измѣреній, при которомъ тѣло, подвергающееся дѣйствію солнечной радіаціи, совсѣмъ не защищается отъ постороннихъ вліяній оболочкою; но для этого требуется одновременное наблюденіе двухъ тѣлъ, изъ которыхъ попеременно одно освѣщается лучами солнца, а другое находится въ тѣни. Только при такомъ одновременномъ наблюденіи двухъ тождественныхъ тѣлъ является возможность съ достаточною точностью выдѣлить дѣйствіе солнечныхъ лучей отъ всѣхъ постороннихъ вліяній, дѣйствующихъ одинаково какъ на нагрѣвающееся, такъ и на охлаждающееся тѣло.

Такимъ образомъ, благодаря методу Ангстрема, актинометрія вступаетъ въ новую фазу своего развитія.

Новымъ методомъ весьма удачно воспользовался въ последнее время профессоръ Хвольсонъ, какъ для абсолютныхъ, такъ и для относительныхъ измѣреній солнечной радіаціи.

Въ приборѣ Ангстрема температурныя измѣненія опредѣляются термоэлектрическимъ способомъ, который во многихъ отношеніяхъ предпочтительнѣе употребленія ртутныхъ термометровъ. Дѣйствительно, показанія ртутнаго термометра всегда отстаютъ отъ истинной перемѣнной температуры нагрѣвающагося тѣла, и кромѣ того введеніе термометра вовнутрь должно вызывать измѣненіе формы калориметра.

Но съ другой стороны нельзя упускать изъ виду вліянія температуры на сопротивленіе, оказываемое цѣпью; съ измѣненіемъ температуры цѣпи, при одной и той же электровозбудительной силѣ, должно измѣняться значеніе одного дѣленія

шкалы. Поэтому при термоэлектрическомъ способѣ наблюденій необходимо имѣть въ виду поправки относительно измѣненій температуры отдѣльныхъ частей гальванической цѣпи, а также начальной температуры спаевъ.

Актинометрическія наблюденія ведутся по методу статическому или динамическому. Оба эти метода можно различать какъ при употребленіи термометровъ, такъ и термоэлементовъ. Въ термоэлектрическихъ приборахъ наблюдается или отклоненіе стрѣлки, пришедшей уже въ стаціонарное состояніе, какъ это дѣлаютъ Лангле, Фрелихъ и Ангстремъ, или же, по способу Мелонни, котораго придерживается и Дезепъ, опредѣляется первое отклоненіе стрѣлки гальванометра.

Наблюденія помощью радіаціонныхъ термометровъ, какъ напр. въ Монсури, производятся по методу статическому, который представляетъ удобство въ томъ отношеніи, что требуетъ одного простого отсчета. Но во первыхъ трудно рѣшить, какую именно радіацію мы такимъ образомъ измѣряемъ, и во вторыхъ, какъ мы видѣли, температура стаціонарнаго термометра въ этомъ приборѣ зависитъ отъ температуры стекляной оболочки.

Если бы возможно было устранить эти недостатки, тогда подобные приборы, требующіе одного простого отсчета для каждаго отдѣльнаго актинометрическаго наблюденія, оказались бы чрезвычайно полезными для небольшихъ метеорологическихъ станцій.

Но вмѣстѣ съ тѣмъ нельзя упускать изъ виду, что солнечная радіація подвержена весьма частымъ, а иногда крайне рѣзкимъ измѣненіямъ; достиженіе въ такихъ случаяхъ стаціонарной температуры едва-ли возможно; поэтому статическій методъ наблюденій требуетъ по возможности ясныхъ дней и спокойнаго состоянія атмосферы.

Для опредѣленія же солнечной радіаціи въ извѣстный моментъ и при томъ въ абсолютныхъ единицахъ необходимъ методъ динамическій.

III. Вліяніе земной атмосферы на солнечное лучеиспусканіе.

ГЛАВА XVII.

Газообразная оболочка земного шара.

§ 59. *Распространеніе земной атмосферы.* Кеплеръ, основываясь на наблюденіи сумерекъ, полагалъ, что крайній предѣлъ земной атмосферы находится на высотѣ 72.000 метровъ. Пулье принималъ, что толщина атмосфернаго слоя, способнаго задерживать солнечную радіацію, не превышаетъ 80.000 метровъ, т. е. составляетъ $^1/_{80}$ часть земного радіуса. Между тѣмъ Біо, на основаніи термометрическихъ наблюденій Гейлюссака въ Парижѣ, а также Гумбольдта на Чимборазо и Буссенго въ Антизанѣ, находитъ для всей высоты атмосферы всего только 47.000 метровъ.

Съ другой стороны Ліэ *), основываясь на наблюденіяхъ, сдѣланныхъ имъ во время путешествія въ Бразилію, полагаетъ, что атмосфера, въ состояніи крайняго разрѣженія, находится еще на высотѣ 340.000 метровъ. Маршанъ **) еще болѣе удаляетъ эту границу отъ земной поверхности, а именно до высоты 362.650 метровъ.

---

*) Em. Liais: «L'espace céleste et la nature tropicale», p. 371.

**) Marchand, «Étude sur la force chimique», p. 114.

Но имѣетъ-ли на самомъ дѣлѣ атмосфера верхній предѣлъ, мы не знаемъ, такъ какъ нѣтъ положительныхъ данныхъ, говорящихъ въ пользу того или другого мнѣнія, хотя до настоящаго времени предложены были различные методы для опредѣленія высоты земной атмосферы *).

a) *Методъ оптическій.* Еще арабъ Альгазенъ пытался опредѣлить высоту атмосфернаго слоя, который при наступленіи сумерекъ отражаетъ на земную поверхность послѣдніе лучи опустившагося за горизонтъ солнца. Тѣмъ же методомъ пользовался Кеплеръ, а также Маріоттъ и наконецъ въ послѣднее время Іессе.

b) *Методъ механическій*, предложенный Лапласомъ, для опредѣленія того крайняго предѣла, гдѣ сила земного притяженія уравновѣшиваетъ центробѣжную силу.

c) *Методъ термодинамическій.* А. Риттеръ **) пытался опредѣлить высоту атмосферы на основаніи слѣдующаго принципа: «чтобы привести массу воздуха, охлажденнаго до 0° абсолютной температуры, при постоянномъ давленіи, въ такое же состояніе, въ какомъ находятся слои у земной поверхности, требуется затратить количество теплоты, эквивалентное механической работѣ, необходимой для перенесенія этой же массы воздуха отъ поверхности земли до границъ атмосферы».

d) *Методъ астрономическій*, при помощи котораго Скіапарелли нашелъ, что высота атмосферы значительно превосходитъ 200 киллометровъ, такъ какъ уже на этой высотѣ начинаютъ блестѣть метеориты.

§ 60. *Составъ атмосферы.* Каждый кубическій метръ воздуха у поверхности океана содержитъ въ среднемъ:

Кислорода	по объему	206.27 литр.	по вѣсу	294.915 гр.
Азота	»	784.92 »	»	985.993 »
Водяныхъ паровъ	»	8.40 »	»	6.757 »
Углекислоты ..	»	0.41 »	»	0.811 »
Всего	»	1000.00 »	»	1288.476 »

*) Günther, Lehrbuch der Geophysik, Stuttgart 1885, p. 85.
**) Ann. de physique et de chimie, 5 série, p. 407.

Кромѣ того въ атмосферѣ находится незначительное количество амміака, а также усматривается еще множество разнообразныхъ мельчайшихъ твердыхъ органическихъ и неорганическихъ частицъ, которымъ присвоено общее названіе атмосферной пыли.

Если на какомъ либо верхнемъ уровнѣ атмосферы барометрическое давленіе равно p, а на нижнемъ P, то толщина заключеннаго между ними атмосфернаго слоя, какъ извѣстно, опредѣляется въ метрахъ барометрическою формулою:

$$h=18401.2(1+\alpha\tau)(1+0.378\frac{e}{p})(1+0.0026\cos2\varphi)(1+\beta z)\log.\frac{P}{p}$$

гдѣ α—коэффиціентъ кубическаго расширенія воздуха, τ—температура, e — упругость водяного пара, φ—широта мѣста, βz—поправка относительно измѣненія тяжести съ высотою.

Допустимъ, что слой воздуха разсматриваемой толщины совершенно сухой, т. е. $e=0$, и что онъ всюду имѣетъ температуру 0°C; тогда, если не принимать во вниманіе измѣненія тяжести съ высотою, для 45° широты получимъ слѣдующую упрощенную формулу:

$$h=18401\log.\frac{P}{p}. \qquad (1)$$

Пусть P атмосферное давленіе у поверхности океана и $p=\frac{1}{10}P$; тогда $h=18401$ метр. означало бы толщину сухого воздуха, имѣющаго всюду температуру 0°, на верхнемъ уровнѣ котораго атмосферное давленіе въ десять разъ меньше, нежели у земной поверхности.

Что касается водяного пара, то намъ неизвѣстно, какимъ образомъ онъ распространяется въ атмосферѣ.

Упругость водяного пара обусловливается температурою, а потому, чтобы знать распредѣленіе паровъ въ различныхъ слояхъ атмосферы, необходимо знать законъ уменьшенія температуры съ высотою. Но мы не знаемъ, какимъ образомъ пони-

жается температура съ удаленіемъ отъ земной поверхности. какъ не знаемъ истинной высоты атмосферы. Мы можемъ только констатировать тотъ фактъ, что упругость водяныхъ паровъ быстро убываетъ съ высотою.

У поверхности земли она бываетъ различна, смотря по времени года и мѣсту наблюденія. На высотѣ же 8000—10000 метровъ упругость водяного пара въ атмосферѣ крайне незначительна, какъ это удостовѣряютъ аэронавты. Такое быстрое уменьшеніе упругости показываетъ, что водяной паръ не составляетъ особой атмосферы, находящейся въ состояніи равновѣсія, подобно воздуху. Дѣйствительно, такъ какъ водяной паръ легче воздуха, то при равновѣсіи упругость его должна убывать медленнѣе, нежели барометрическое давленіе; на самомъ же дѣлѣ замѣчается противное. На высотѣ 5000 метровъ барометрическое давленіе не уменьшается и на половину всей своей величины (400 мм.), между тѣмъ упругость паровъ на такой высотѣ рѣдко доходитъ до 1 мм., т. е. составляетъ какую нибудь десятую или двадцатую часть упругости у поверхности океана. Происходитъ это явленіе отъ того, что водяной паръ сгущается въ верхнихъ слояхъ, вслѣдствіе пониженія температуры.

Ганнъ *), на основаніи многочисленныхъ наблюденій на горныхъ станціяхъ, даетъ слѣдующую эмпирическую формулу для уменьшенія упругости водяныхъ паровъ съ высотою:

$$e=E10^{-\frac{h}{6577}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Сравнивъ ее съ форм. (1), получимъ:

$$\frac{e}{E}=\left(\frac{p}{P}\right)^{\frac{18401}{6517}}, \text{ или приблизительно } \frac{e}{E}=\left(\frac{p}{P}\right)^{3}.$$

Такимъ образомъ мы видимъ, что водяной паръ не можетъ составлять самостоятельной атмосферы, такъ какъ при

*) A. Sprnng, Lehrbuch der Meteorologie, Hamburg 1885, p. 94.

меньшемъ удѣльномъ вѣсѣ упругость его должна убывать медленнѣе, нежели барометрическое давленіе сухого воздуха.

Для опредѣленія процентнаго содержанія углекислоты въ атмосфѣрѣ произведено было очень много изслѣдованій; но полученные результаты, въ виду несовершенства методовъ, нельзя считать вполнѣ надежными.

По новѣйшимъ опредѣленіямъ, къ которымъ примѣнены были наиболѣе точные методы, количество углекислоты у земной поверхности колеблется между 0.02% и 0.033% по обьему.

Такъ Мюнцъ и Обенъ *) для четырехъ французскихъ станцій сѣвернаго полушарія нашли 0.0282%, и для трехъ станцій южнаго полушарія 0.0271%. Мари-Дави даетъ для Монсури среднее содержаніе углекислоты 0.0302%.

Заландеръ **), примѣняя методъ Петтенкофера, для восточныхъ береговъ Швеціи нашелъ 0.0303%, какъ среднее изъ 263 опредѣленій. Изъ 27 опредѣленій, сдѣланныхъ днемъ, Аристронгъ нашелъ для углекислоты 0.0296% и изъ 29 наблюденій, произведенныхъ ночью, 0.0330% ***).

Что же касается распредѣленія углекислоты въ верхнихъ слояхъ атмосферы, то въ этомъ отношеніи сдѣлано очень мало надежныхъ наблюденій. До настоящаго времени въ наукѣ еще не рѣшенъ вопросъ: измѣняется-ли процентное содержаніе углекислоты съ высотою. Такъ по наблюденіямъ Шлагинтвейта ****) на восточныхъ и западныхъ Альпахъ, процентное содержаніе углекислоты съ высотою увеличивается.

Наблюденія Трошю, произведенныя въ 1873 году, приводятъ къ обратному заключенію.

---

*) Müntz et Auben: Comptes rendus 1881, 1883, 1884; p. 797, 1793, 487.
**) Ann. der Physik. und Chemie, Bd. XXXIX, h. 2, p. 295.
***) Proc. of the R Soc. Vol. XXX, p. 343.
****) Poggend. Annal. 76, p. 448, 452; 37, p. 248.

Во время экспедиціи Лангле на горѣ Уитней найдено было, какъ среднее, 0.0194%, что говоритъ въ пользу уменьшенія углекислоты съ высотою.

Мюнцъ и Обенъ для Pic du Midi хотя и нашли 0.0286%, но въ тотъ же день для Монсури найдено было 0.0284%.

Наконецъ новѣйшія изслѣдованія Marcet и Sandriset *) вблизи Женевы показали, что при отсутствіи облаковъ въ атмосферѣ содержится одинаковое количество углекислоты на всѣхъ высотахъ; но съ увеличеніемъ облачности процентное содержаніе углекислоты на возвышенныхъ мѣстахъ уменьшается.

ГЛАВА XVIII.

Поглощательная способность составныхъ частей атмосферы.

§ 61. *Опыты Тиндалля и Магнуса.* Физики давно уже заняты вопросомъ о поглощательной способности различныхъ паровъ и газовъ.

Тиндалль **) заключалъ изслѣдуемые газы и пары въ мѣдную трубку, длиною 122 сантиметровъ, съ полированными внутренними стѣнками. Такая трубка герметически закрывалась пластинками изъ каменной соли и устанавливалась между кубомъ Лесли съ кипящею водою и термоэлектрическимъ столбикомъ.

Въ опытахъ Тиндалля водяные пары могли осаждаться на внутреннихъ стѣнкахъ трубы и на пластинкахъ каменной соли, вслѣдствіе чего, вѣроятно, уменьшалось отраженіе лучей стѣнками трубы и увеличивалась поглощательная способность поли-

*) La Nature, mars 1888, 614e Bulletin météorologique

**) Tyndall, Poggend. Ann. Bd. CXIII, CXVI. Philos. Transact. for 1864, p. 201 и 327.

рованныхъ пластинокъ изъ каменной соли, такъ что къ термоэлектрическому столбику достигало менѣе лучей, когда трубка содержала водяные пары, нежели при наполненіи ея сухимъ воздухомъ.

Магнусъ *), который впервые указалъ на этотъ источникъ ошибокъ (Vaporhäsion), при своихъ изслѣдованіяхъ старался устранить замѣченный недостатокъ тѣмъ, что источникъ теплоты и термоэлектрическій столбикъ въ его приборѣ были помѣщены въ изслѣдуемыхъ парахъ, и на пути лучей не находилось никакихъ постороннихъ тѣлъ; но при этомъ трудно допустить, чтобы испускательная и поглощательная способность источника теплоты и термоэлектрическаго столбика не зависѣла отъ окружающей средины.

Кромѣ того на результаты опытовъ могли оказывать вліяніе измѣненія температуры паровъ и газовъ при впусканіи и выпусканіи ихъ изъ трубокъ.

Этими недостатками объясняется огромное разногласіе въ результатахъ Магнуса и Тиндалля относительно поглощательной способности водяныхъ паровъ: по Магнусу поглощеніе лучей водяными парами весьма слабое, по Тиндаллю—весьма значительное.

Опыты Магнуса и Тиндалля были повторены многими другими экспериментаторами.

Такъ Гарибальди **) устанавливалъ на одномъ концѣ трубки длиною въ 0.75 м. термоэлектрическій столбикъ, а на другомъ (и внутри трубки) источникъ теплоты, который состоялъ изъ платиновой спирали, нагрѣваемой до извѣстной температуры постояннымъ гальваническимъ токомъ.

Съ другой стороны термоэлектрическаго столбика былъ также установленъ источникъ теплоты, который компенсировалъ

---

*) Magnus, Poggend. Ann. Bd. CXIV.
**) Nuovo Cimento II Série, Bd. III.
Naturforsch. Iahrg 1871 p. 261.

дѣйствіе нагрѣтой платиновой спирали, когда трубка была совершенно пустая.

По опытамъ Гарибальди водяной паръ оказываетъ чрезвычайно сильное поглощательное дѣйствіе на тепловые лучи.

§ 62. *Опыты Гоорвега и Гага.* Гоорвегъ и Гага*) пользовались методомъ, который иногда примѣнялъ и Тиндалль, но съ нѣкоторыми измѣненіями. Для этого два куба Лесли съ кипящею водою располагались по обѣ стороны термоэлектрическаго столбика такимъ образомъ, чтобы дѣйствія ихъ уравновѣшивались. Между каждымъ кубомъ и столбикомъ помѣщался ящикъ, на крышкѣ котораго было сдѣлано большое число отверстій. Одинъ изъ этихъ ящиковъ наполнялся хлористымъ кальціемъ, а другой маленькими кусочками кремней, смоченныхъ водою. Ящики сообщались съ большимъ мѣхомъ, при дѣйствіи котораго изъ отверстій поднимались воздушные токи. Такимъ образомъ тепловые лучи можно было съ одной стороны пропускать черезъ сухой воздухъ, а съ другой — черезъ воздухъ, насыщенный водяными парами. На основаніи такихъ опытовъ Гоорвегъ и Гага пришли къ заключенію, что водяные пары замѣтно поглощаютъ лучи, испускаемые темными источниками.

§ 63. *Методъ Рентгена.* Методъ Рентгена**) основанъ на опредѣленіи расширенія газа, поглощающаго теплоту. Для этого испытуемый газъ вводится въ мѣдную трубку, съ выполированными внутри стѣнками; съ одной стороны трубка эта закрывается пластинкою изъ каменной соли, другой же конецъ ея сообщается съ весьма чувствительнымъ манометромъ, посредствомъ котораго можно наблюдать самыя незначительныя измѣненія упругости газовъ. Для своихъ изслѣдованій Рентгенъ пользовался неблестящимъ пламенемъ Бунзеновской горѣлки,

---

*) Hoorweg, Poggend. Ann. Bd. CLV.
Haga, Poggend. Ann. Bd. CLX.

**) Röntgen: Berichte der oberhessischen Gesellschaft für Natur und Heilkunde. Bd. XX. 1881.

которая ставилась въ нѣкоторомъ разстояніи отъ пластинки каменной соли. Рентгеномъ обнаружено значительное поглощеніе лучей водяными парами.

§ 64. *Изслѣдованія Лехера и Пернтера.* Лехеръ и Пернтеръ *) слѣдовали методу Магнуса, который они нѣсколько усовершенствовали.

Лехеръ и Пернтеръ не согласны съ выводами Тиндалля, относительно огромнаго поглощенія тепловыхъ лучей влажнымъ воздухомъ; при этомъ они ссылаются на наблюденія Віолля, который одновременно съ Марготе измѣрялъ солнечную радіацію на вершинѣ Монблана и у Боссонскаго глетчера. По этимъ наблюденіямъ, атмосферный слой толщиною въ 3610 м. поглощалъ всего 16% солнечной теплоты. Если бы даже все это поглощеніе, говорятъ они, было обязано исключительно водяному пару, то и въ этомъ случаѣ оно незначительно.

Вюлльнеръ **), упоминая объ этомъ возраженіи Лехера и Пернтера, указываетъ на то обстоятельство, что воздухъ и водяной паръ—средины термически окрашенныя, и слѣдовательно, поглощеніе ими тепловыхъ лучей избирательное; солнечная же энергія, по пути къ Монблану, проходила черезъ выше лежащіе слои атмосферы, гдѣ и были задержаны наиболѣе поглощающіеся водянымъ паромъ тепловые лучи.

§ 65. *Методъ Ангстрема.* Недавно Ангстремъ ***) произвелъ цѣлый рядъ изслѣдованій поглощательной способности водяного пара, углекислоты и сухого воздуха.

Подобно Тиндаллю, Ангстремъ заключалъ испытуемые пары или газы въ мѣдныя трубки, черезъ которыя проходили лучи отъ Аргантовой лампы и падали на болометръ. Для этого онъ

*) Lecher und Pernter, Wiener. Sitzungsber. 1880, 82, 265. Wied. Ann. 12, p. 180, 1881.

**) Lehrbuch der Experimentalphysik von Dr. Adolph Wüllner, p. 216. 1885. Leipzig.

***) Angström: «Beiträge zur Kenntniss der Absorption der Wärmestrahlen durch die verschiedenen Bestandtheile der Atmosphäre». Wied. Ann. 1890. Neue Folgen. Bd. XXXIX, p. 266.

пользовался двумя стеклянными цилиндрами, длиною въ 152 сантим. и 4.1 сант. въ поперечникѣ, расположенными параллельно другъ другу. Въ каждый цилиндръ, закрывающійся съ обѣихъ сторонъ пластинками изъ каменной соли, можно было вставить по 6 мѣдныхъ трубокъ, длиною въ 17 сантиметровъ. Трубки эти на одномъ концѣ имѣли діафрагмы, съ отверстіями въ 20 мм.; внутреннія ихъ стѣнки тщательно покрывались сосновою сажею.

Выгоды такого устройства, по мнѣнію Ангстрема, слѣдующія:

a) Трубки съ діафрагмами совершенно устраняютъ вліяніе сгущенія паровъ на стѣнкахъ (Vaporhäsion).

b) Вліяніе измѣненій напряженія источника теплоты можетъ быть совершенно устранено тѣмъ, что попеременно наблюдаются оба цилиндра, при чемъ въ одномъ изъ нихъ совершенная пустота, а другой содержитъ испытуемый газъ или пары.

c) Измѣненія чувствительности гальванометра или болометра также могутъ быть исключены, потому что сравниваются между собою только послѣдовательныя отклоненія стрѣлки.

d) Вслѣдствіе большой чувствительности болометра нагрѣваніе самихъ трубокъ и діафрагмъ не можетъ оказывать существеннаго вліянія.

Ангстремъ произвелъ такимъ образомъ около 500 наблюденій.

Въ слѣдующей таблицѣ показано напряженіе падающихъ на приборъ лучей, поглощеніе ихъ въ процентахъ и, наконецъ, дѣйствительное поглощеніе водяными парами, упругость которыхъ равна 10 мм.; при этомъ L означаетъ лучи, непосредственно идущіе отъ Аргантовой лампы, M_2 и M_1 лучи, предварительно прошедшіе черезъ слой окиси магнезіи, толщиною въ 0.1 и 0.2 мм.

	L	M_2	M_1
Полное лучеиспусканіе ..	300	82	36
Поглощенная часть......	4.8	1.85	1.15
Поглощеніе въ процентахъ	1.6	2.25	3.2.

На основаніи такихъ опытовъ Ангстремъ приходитъ къ заключенію, что водяной паръ дѣйствительно поглощаетъ тепловые лучи; и если это не было замѣчено Лехеромъ и Пернтеромъ, то только потому, что поглощающій слой имѣлъ толщину всего 30 сант., т. е. въ пять разъ меньшую, нежели при его опытахъ; при этомъ упругость водяного пара не превышала 7.4 мм. При такихъ условіяхъ поглощеніе должно составлять лишь 0.3%, что было въ предѣлахъ ошибокъ наблюденій Лехера и Пернтера.

Ангстремъ однако воздерживается отъ окончательнаго заключенія, что водяной паръ играетъ большую роль въ атмосферномъ поглощеніи. Для такого вывода еще не достаточенъ фактъ, что въ спектрѣ лучей, предварительно прошедшихъ черезъ слой водяныхъ паровъ, толщиною въ одинъ или два метра, замѣчаются отдѣльныя полосы поглощенія; необходимо еще изслѣдовать, какъ далеко можетъ простираться такое поглощеніе въ солнечномъ спектрѣ. Ангстремъ нашелъ только, что эта область болѣе приближается къ видимой части спектра, нежели поглощаемая углекислотою, такъ что вѣроятно поглощеніе, обусловленное водянымъ паромъ, доходитъ до $\lambda = 2\mu$ *). Для болѣе точнаго опредѣленія границъ этой области необходимо всестороннее изслѣдованіе поглощательной способности водяныхъ паровъ при различной упругости.

Многіе ученые приписываютъ большую поглощательную способность водяному пару на томъ основаніи, что этимъ свойствомъ обладаетъ вода въ капельно-жидкомъ состояніи. Дезенъ нашелъ **), что сѣрный и муравьиный эфиры, какъ въ жидкомъ, такъ и въ газообразномъ состояніи, въ одинаковой степени поглощаютъ лучи. Тиндалль ***), на основаніи многочисленныхъ

*) См. стр. 5; μ=0.001 мм.=10.000 единицъ шкалы Ангстрема.

**) Desains: Comptes Rendus, 1867, p. 1086.

***) Tyndall; Phil. Trans of the R. S. 1882, p. 291.
Rep d. Phys. von Exner 1883, p. 139.

изслѣдованій, приходитъ къ одному и тому же послѣдовательному ряду для выраженія поглощательной способности паровъ и соотвѣтствующихъ имъ жидкостей.

Кромѣ того онъ указываетъ также на сѣрный эфиръ и амиленъ, у которыхъ поглощательная способность одна и таже, какъ въ жидкомъ, такъ и въ газообразномъ состояніи. На основаніи этихъ фактовъ Тиндалль приходитъ къ общему закону «сохраненія молекулярнаго дѣйствія». Но этихъ единичныхъ фактовъ еще недостаточно для вывода общаго закона молекулярной физики и примѣненія его къ водяному пару въ частности.

Для рѣшенія этого вопроса Ангстремъ произвелъ непосредственныя измѣренія.

Въ его опытахъ лучи отъ Аргантовой лампы проходили черезъ трубку коллиматора, сначала пустую, а потомъ съ водянымъ паромъ при упругости 10 мм., и, послѣ преломленія въ призмѣ изъ каменной соли, изслѣдовались болометромъ. Замѣченное при этомъ поглощеніе было весьма незначительно; такъ, напримѣръ, при $\lambda=4\mu$ оно не превышало 0.1%.

Послѣ этого передъ щелью коллиматора установленъ былъ плоскій сосудъ изъ тонкихъ пластинокъ слюды и опять наблюдалось напряженіе лучей, прошедшихъ черезъ пустой сосудъ, а также наполненный водою. Такіе опыты показали Ангстрему, что вода въ капельно-жидкомъ состояніи въ нѣсколько разъ сильнѣе поглощаетъ тепловые лучи, нежели водяной паръ (такъ напр. для $\lambda=4\mu$ въ пять разъ больше), и что вообще жидкость и ея пары не всегда производятъ одинаковое поглощеніе.

Ангстремъ изслѣдовалъ также поглощеніе тепловыхъ лучей въ чистомъ и сухомъ воздухѣ. Лехеръ и Пернтеръ, а также Рентгенъ, не могли обнаружить поглощенія лучей въ чистомъ воздухѣ. По опытамъ Тиндалля слой сухого воздуха въ 914 мм. поглощаетъ не болѣе 0.3%. Ангстремъ съ своей стороны при-

ходитъ къ заключенію, что въ чистомъ воздухѣ поглощеніе очень слабое.

Изслѣдованіемъ поглощательной способности углекислоты занимались Лехеръ и Перитеръ*). позже одинъ Лехеръ**), Гейне***), Рентгенъ****), Келеръ*****) и наконецъ Ангстремъ. Всѣ эти изслѣдованія показали, что углекислота въ сильной степени поглощаетъ тепловые лучи.

Ангстремъ изслѣдовалъ поглощеніе тепловыхъ лучей въ углекислотѣ при различной упругости. Опыты его показали, что съ увеличеніемъ давленія поглощеніе въ углекислотѣ сначала увеличивается очень быстро, но потомъ гораздо медленнѣе, какъ показываетъ слѣдующая таблица:

Упругость въ миллиметрахъ.	Поглощеніе въ процентахъ.
26	7.2
50.7	9.2
99.6	11.2
404.5	15.9
771.5	17.7.

Въ спектрѣ поглощеніе, обусловленное углекислотою, состоитъ изъ многихъ полосъ. близко лежащихъ одна отъ другой; область эта занимаетъ опредѣленное положеніе въ инфракрасной части спектра, между $\lambda=2.7$ и $\lambda=4.5$; максимумъ этого поглощенія соотвѣтствуетъ $\lambda=3.5\mu$.

---

*) Lecher und Pernter: Wien. Sitzungsber. 1880. 82, p. 265.
**) Lecher, Wied. Ann. 12. 188., p. 466.
***) Heine, Wied. Ann. 16. 1882, p. 444.
****) Röntgen, Wied. Ann. 23. 1881, p. 259.
*****) Keeler, Am. Journ. 28. 1884, p. 190.

ГЛАВА XIX.

Поглощеніе солнечной радіаціи земною атмосферою.

§ 66. *Формула Бугера.* Лучи солнца на пути своемъ встрѣчаютъ атмосферу, которая въ значительной степени поглощаетъ радіацію. Бугеръ былъ первый, который вывелъ основной законъ поглощенія простыхъ лучей однородною атмосферою. Первая его работа появилась въ 1729 году, полное же сочиненіе вышло только послѣ смерти Бугера въ 1760 году: «Traité d'Optique sur la gradation de la lumière». Paris 1760. Хотя Бугеръ исключительно изучалъ поглощеніе свѣтовыхъ лучей, но методъ его былъ принятъ впослѣдствіи и при измѣреніи калорической радіаціи солнца. Бугеръ пришелъ къ заключенію, что напряженіе лучей, проходящихъ черезъ атмосферу, уменьшается въ геометрической прогрессіи, если масса проходимаго воздуха увеличивается въ ариѳметической прогрессіи. При этомъ онъ допускаетъ, что если лучъ проходитъ черезъ элементарный слой воздуха, то потеря его напряженія прямо пропорціональна массѣ проходимаго слоя и величинѣ самого напряженія въ разсматриваемый моментъ: чѣмъ напряженнѣе лучъ, тѣмъ больше онъ подвергается поглощенію въ атмосферѣ.

Пусть J напряженіе луча, m—масса воздуха, α—нѣкоторый постоянный коэффиціентъ; тогда потеря напряженія—dJ, при прохожденіи элементарнаго пути ds, въ которомъ плотность воздуха ρ, будетъ: $dJ = -\alpha J ds\, \rho = -\alpha J dm$.

Отсюда $\frac{dJ}{J} = -\alpha dm$. Интегрируя это выраженіе, получаемъ:

$$\int \frac{dJ}{J} = -\alpha \int dm\,;\ \mathrm{Log.}\, J = -\alpha m + \mathrm{Log.}\, C\,;\ \mathrm{Log.}\, \frac{J}{C} = -\alpha m.$$

Для опредѣленія C замѣтимъ, что у предѣла атмосферы $m = 0$, и напряженіе лучей $J_0 = C$.

Такимъ образомъ $\mathrm{Log}.\frac{J}{J_0}=-\alpha m$ . . . . (1)

Разсмотримъ частный случай, когда солнцѣ находится въ зенитѣ мѣста наблюденія, и, слѣдовательно, лучъ направленъ по вертикальной линіи, встрѣчая на пути своемъ массу воздуха m'.

Въ этомъ случаѣ $\mathrm{Log}.\frac{J'}{J_0}=-\alpha m'$ . . . . (2)

Изъ равенствъ (1) и (2) находимъ:

$$\mathrm{Log}.\left(\frac{J}{J_0}\right):\mathrm{Log}.\left(\frac{J'}{J_0}\right)=m:m';\ \mathrm{Log}.\frac{J}{J_0}=\frac{m}{m'}.\mathrm{Log}.\frac{J'}{J_0}=\mathrm{Log}\left(\frac{J'}{J_0}\right)^{\frac{m}{m'}}.$$

Отсюда $J=J_0\left(\frac{J'}{J_0}\right)^{\frac{m}{m'}}$. Полагая $\frac{J'}{J_0}=p$ и $\frac{m}{m'}=e$, получимъ формулу Бугера

$J=J_0p^e$ . . . . (3).

Примѣняя означенную формулу къ тепловой радіаціи солнца, мы при всѣхъ дальнѣйшихъ выводахъ будемъ имѣть въ виду, что такъ называемая солнечная постоянная J_0 означаетъ выраженное въ малыхъ калоріяхъ количество теплоты, которое получаетъ въ одну минуту на границѣ атмосферы квадратный сантиметръ поверхности, перпендикулярной къ солнечнымъ лучамъ.

Полагая $e=\frac{m}{m'}=\frac{s}{s'}=1$, т. е. что лучи падаютъ вертикально, получимъ $J=J_0p$. Коэффиціентъ p показываетъ, какая доля теплоты J_0, упавшей на границѣ атмосферы, достигаетъ земной поверхности по вертикальному направленію; p называется коэффиціентомъ теплопрозрачности атмосферы (атмосферная постоянная).

Остается еще опредѣлить e, т. е. массу проходимаго лучемъ воздуха, въ функціи зенитнаго разстоянія солнца.

При небольшихъ зенитныхъ разстояніяхъ мы можемъ пренебречь вліяніемъ рефракціи, и тогда длина луча s представится въ видѣ прямой линіи, образующей съ вертикальною ли-

ніею s' нѣкоторый постоянный уголъ θ. Въ этомъ случаѣ можно принять $e = \frac{m}{m'} = \frac{s}{s'} = \sec\theta$.

Ламбертъ въ своемъ сочиненіи «Photométrie», которое также, какъ и Бугера, было опубликовано въ 1760 году, выводитъ слѣдующее выраженіе для e: $(R+s')^2 = s^2 + R^2 + 2Rs\cos\theta$; откуда, полагая $\frac{R}{s'} = r$, гдѣ R — радіусъ земли, получимъ: $1 + 2r = e^2 + 2re.\cos\theta$;

$$e = -r\cos\theta + \sqrt{r^2\cos^2\theta + 1 + 2r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4).$$

Бугеръ *) также далъ формулу для вычисленія массы воздуха, проходимаго лучемъ. Исходя изъ логариѳмическаго закона уменьшенія давленія при поднятіи въ атмосферу и предполагая при этомъ температуру постоянною, онъ нашелъ, что $m = \int \frac{(1-z)(a+x)dx}{\sqrt{b^2+2ax+x^2}}$, гдѣ a земной радіусъ, $1-z$ плотность воздуха, составляющаго разсматриваемый слой, принимая плотность у поверхности земли за единицу. Интегрируя это выраженіе, Бугеръ получилъ сходящійся рядъ, и такимъ образомъ вычислилъ атмосферную массу, проходимую солнечными лучами, принимая за единицу толщину, которую имѣла бы атмосфера, если бы воздухъ всюду былъ такой же плотности и вѣса, какъ и у земной поверхности.

Наконецъ Форбсъ **), занимаясь тѣмъ же вопросомъ, вспомнилъ замѣчательныя работы объ астрономической рефракціи Лапласа, который въ 3-ей главѣ десятой книги своей Небесной Механики (Mécanique Céleste) установилъ зависимость между астрономическою рефракціею и массою воздуха, проходимаго солнечнымъ лучемъ.

Этимъ путемъ сводится весьма трудная задача объ опредѣленіи массы воздуха, проходимаго лучемъ, на столько же

---

*) Traité d'Optique, p. 331.

**) James Forbes: «On the Transparency of the atmosphere». Phil. Trans, 1842, part II, p. 235.

трудный, но хорошо разработанный вопросъ объ астрономической рефракціи, что даетъ возможность прилагать выводы астрономіи къ изучаемому нами явленію. Лапласъ приходитъ къ очень простому выраженію для массы воздуха, проходимаго лучемъ: $m = m_0 \frac{r}{r_{45} \text{Sin. } z}$, гдѣ m_0—масса воздуха, проходимаго вертикально падающимъ лучемъ, r и r_{45}—астрономическая рефракція при зенитномъ разстояніи солнца z^0 и 45^0—могутъ быть найдены изъ таблицъ рефракціи, въ «Connaissance des Temps».

Отсюда получается слѣдующее выраженіе для длины луча:

$$e = \frac{r}{58''.36. \text{ Sin. } z}.$$

Зенитное разстояніе солнца z вычисляется по формулѣ: $\cos z = \text{Sin } \varphi \text{ Sin } \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t$, гдѣ δ, склоненіе солнца для даннаго времени, можетъ быть найдено въ «Connaissance des Temps», t—часовой уголъ, φ—широта мѣста наблюденія. Простою формулою секансовъ можно пользоваться лишь въ томъ случаѣ, когда зенитное разстояніе солнца не превышаетъ 70^0. Пулье, при вычисленіи длины луча, пользовался формулою Ламберта.

Такъ какъ солнечные лучи преимущественно поглощаются ближайшими къ землѣ слоями воздуха, то поэтому Пулье принимаетъ въ формулѣ Ламберта $r = \frac{R}{s'} = 80$, т. е. что толщина поглощающаго слоя не превышаетъ 80 километровъ *).

Формулою Ламберта—Пулье въ настоящее время пользуются въ Монсури; но она преувеличиваетъ вліяніе верхнихъ слоевъ атмосферы и въ тоже время умаляетъ значеніе нижнихъ. Болѣе точные результаты получаются въ томъ случаѣ, если положить въ формулѣ Ламберта $r = 630$, какъ это дѣлаетъ Радо **).

*) Средній радіусъ земли 6366 километровъ.

**) Radau: Actinometrie, p. 21.

Приводимъ изъ актинометріи Радо таблицу, въ которой даны послѣдовательно вычисленныя массы воздуха:

1. по формулѣ секансовъ,
2. » » Лапласа—Форбса,
3. » » Бугера,
4. » » Ламберта—Пулье,
5. » » Ламберта—Радо.

Атмосферныя массы.

Зенит. разст.	Сек. Z.	Форбсъ	Бугеръ	Л. Пулье	Л. Радо.
0°	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
10°	1.015	1.016	1.015	1.02	1.015
20°	1.064	1.065	1.064	1.06	1.064
30°	1.155	1.156	1.155	1.15	1.153
40°	1.305	1.306	1.305	1.30	1.303
50°	1.556	1.555	1.556	1.54	1.553
60°	2.000	1.995	1.990	1.96	1.995
70°	2.924	2.902	2.900	2.80	2.906
75°	3.864	3.809	3,805	3.58	3.822
80°	5.76	5.57	5.56	4.92	5.62
85°	11.47	10.22	10.20	7.51	10.48
86°	14.3	12.2	12.1	8.3	12.6
87°	19.1	14.9	14.9	9.2	15.5
88°	28.7	18.9	19.0	10.2	19.9
89°	57.3	25.1	25.8	11.4	26.2
90°	—	35.5	35.5	12.7	35.5

Изъ приведенной таблицы можно видѣть, что формулы Лапласа-Форбса и Бугера даютъ результаты, весьма согласные между собою отъ 0° до 90°. Кривыя атмосферныхъ толщинъ, построенныя по этимъ формуламъ, какъ это сдѣлано Крова *), совпадаютъ на всемъ своемъ протяженіи. Формулою секансовъ можно пользоваться для зенитныхъ разстояній, непревышающихъ 65°;

*) Ann. de chimie et physique, t. XI, 1877, 5 série.

далѣе формула секансовъ даетъ результаты большіе, нежели двѣ первыя формулы. Наиболѣе расходится съ прочими формула Ламберта—Пулье, въ особенности начиная съ 45^0; далѣе 60^0 она уже не примѣнима. Формула Ламберта—Радо даетъ болѣе точные результаты.

Формула Бугера, связывающая напряженіе луча, массу воздуха и зенитное разстояніе, содержитъ двѣ постоянныя величины J_0 и p. Для опредѣленія ихъ необходимо знать напряженіе солнечнаго лучеиспусканія въ одинъ и тотъ же день при различныхъ высотахъ солнца.

На основаніи длинныхъ рядовъ наблюденій, произведенныхъ въ 1837 и 1838 годахъ, Пулье пришелъ къ заключенію, что солнечная постоянная J_0 есть абсолютно постоянная величина, а коэффиціентъ теплопрозрачности p только постояненъ въ теченіе одного и того же дня. По его наблюденіямъ, $J_0 = 1.7633$ малыхъ калорій, а коэффиціентъ теплопрозрачности p измѣняется отъ 0.7244 до 0.7888. Почти къ такимъ же результатамъ пришелъ и Гершель, производя наблюденія на мысѣ Доброй Надежды помощью своего актинометра.

Кемцъ *), примѣняя формулу Бугера къ своимъ измѣреніямъ на вершинѣ Фаульгорнъ въ сентябрѣ и октябрѣ 1833 года, нашелъ для солнечной постоянной J_0 величину нѣсколько большую, а для теплопрозрачности воздуха 0.68.

Форбсъ **) старался графическимъ путемъ опредѣлить эмпирическій законъ, выражающій зависимость величины поглощенія отъ толщины проходимой солнечными лучами атмосферы. Для этого онъ воспользовался результатами наблюденій, произведенныхъ имъ при помощи актин. Гершеля, совмѣстно съ Кемцемъ въ сентябрѣ 1832 года на Фаульгорнѣ и въ Бріенцѣ.

---

*) Violle, Ann. de chimie et de physique, 5 série, 1879.

**) On the transparency of the atmosphere, by James D. Forbes. London, 1842.

Philosophical Transactions, Part. II, 1842.

На основанiи этихъ данныхъ Форбсъ вывелъ эмпирическую формулу: $J=0.587+2.233\times0.412^{\varepsilon}$, откуда онъ получилъ для солнечной постоянной 2.82 калорiй, а коэффицiентъ теплопрозрачности атмосферы оказался равнымъ 0.534..

Радо, на основанiи многочисленныхъ рядовъ наблюденiй, также приходитъ къ заключенiю, что въ большинствѣ случаевъ можно довольствоваться только двумя членами, изъ которыхъ одинъ соотвѣтствуетъ темной теплотѣ, а другой—свѣтлой. Допуская, что поглощенiе свѣтлой теплоты атмосферою вообще незначительно, онъ полагаетъ для нея коэффицiентъ теплопрозрачности равнымъ единицѣ; тогда для одной только темной теплоты этотъ коэффицiентъ долженъ быть менѣе средняго, и Радо полагаетъ его равнымъ $^2/_3$; такимъ образомъ получается формула: $J=A_0+A(^2/_3)^{\varepsilon}$.

Многiе ученые старались такъ видоизмѣнить формулу Бугера, чтобы она выражала зависимость напряженiя солнечнаго лучеиспусканiя не только отъ толщины атмосферы, но и отъ упругости водяныхъ паровъ, барометрическаго давленiя, высоты мѣста надъ уровнемъ моря и прочихъ обстоятельствъ.

При выводѣ формулы Бугера мы имѣли $\mathrm{Log.}\frac{J}{J_0}=-\alpha m$, или $\log.\frac{J}{J_0}=-am$; откуда

$$J=J_0\,10^{-am} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5).$$

Принявъ за единицу массу воздуха, проходимаго вертикальнымъ лучемъ, когда барометрическое давленiе равно 760 мм. и означая наблюдаемую высоту барометра черезъ H, получимъ:

$J=J_0 10^{-a\frac{H}{760}\varepsilon}$, гдѣ ε при небольшихъ зенитныхъ разстоянiяхъ солнца можно принять равнымъ Sec. z.

Въ этой формулѣ Радо *), принимая во вниманiе, что дѣйствiе водяныхъ паровъ, распространяющихся въ атмосферѣ, можно

*) Radau: actinometrie, p. 16.

считать эквивалентнымъ поглощенію, производимому слоемъ въ 3 киллометра такой же плотности, какъ и водяной паръ у поверхности моря, замѣняетъ aH посредствомъ $aH + {}^3/_8\beta f$, гдѣ β коэффиціентъ поглощенія водянаго пара, отнесенный къ единицѣ пути и къ нормальному давленію. Если принять, согласно опытамъ Тиндалля, $\beta = 3500\,a$, получимъ: $a\,(H + 1300f)$. Такимъ образомъ формула Бугера принимаетъ слѣдующій видъ:

$$J = J_0 10^{-a\frac{H+bf}{760}e}$$

, гдѣ b зависитъ отъ распредѣленія паровъ въ атмосферѣ.

Соре *), производя наблюденія на различныхъ высотахъ, также пришелъ къ заключенію, что быстро измѣняющееся гигрометрическое состояніе воздуха настолько осложняетъ поглощеніе, что оно не можетъ быть выражено простою формулою Бугера. Такъ какъ при поднятіяхъ замѣчается очень быстрое уменьшеніе водяного пара, то Соре предлагаетъ данное имъ раньше выраженіе $Ap^{H\,\sec.z.}$ замѣнить $Ap^{H^2 \sec.z}$.

Формула послѣдняго вида хорошо выражаетъ наблюденія Соре въ 1867 году въ Женевѣ и на Юрѣ, а также произведенныя имъ наблюденія въ 1869 году.

§ 67. *Формула Віолля.* По мнѣнію Віолля **) формула Бугера, если и расходится съ дѣйствительностью, тѣмъ не менѣе представляетъ собою типъ, по которому мы должны стремиться выразить аналитически факты, принимая во вниманіе по возможности всю сложность явленія.

Произведя большое число наблюденій и при томъ на различныхъ высотахъ, Віолль пришелъ къ слѣдующему выраженію:

$$J = Ap^{\frac{H+(Z-z)kf}{760}e} \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1),$$

гдѣ A, p, k—абсолютно постоянныя,
H—барометрическое давленіе,

*) Ann. de chimie et de physique, 1877, mars.

**) Violle: Annales de chimie et de physique, 1879, 5 série, t. 17.

Z—предѣльная высота для водяныхъ паровъ,
z—высота точки наблюденія въ метрахъ,
f—средняя упругость водяного пара въ колоннѣ воздуха $Z-z$,
e—масса проходимаго лучемъ воздуха.

Формула Віолля построена на основаніи слѣдующихъ соображеній.

Если бы одинъ только сухой воздухъ поглощалъ теплоту, то напряженіе солнечныхъ лучей, послѣ прохожденія ихъ черезъ этотъ сухой слой, соотвѣтствующій давленію $H-f$, выразилось бы формулою

$$J_1 = J_0 p^{\frac{H-f}{760}e} \qquad (2)$$

Хотя на самомъ дѣлѣ лучъ одновременно проходитъ черезъ сухой воздухъ и водяные пары, но результатъ будетъ тотъ же, если мы представимъ себѣ, что лучъ прошелъ сперва черезъ атмосферу сухого воздуха, а потомъ черезъ водяной паръ, котораго упругость f и толщина слоя $Z-z$.

Высота ртутной колонны въ миллиметрахъ, уравновѣшивающая массу водяного пара, равна:

$1000\,(Z-z)\frac{f}{760}.\ 0.622.\ \frac{0.001293}{13.5959}$, гдѣ 0.622 относительная плотность водяного пара, 0.001293—плотность воздуха, 13.5959—плотность ртути. Или высота ртутной колонны, уравновѣшивающей массу пара, въ миллиметрахъ: $m(Z-z)f$, гдѣ $m=\frac{1}{760}.0.622.\frac{1.293}{13.5959}$. Тогда радіація, сведенная раньше на J_1, равна: $J=J_1 p_1^{\frac{m(Z-z)f}{760}e}$, или, полагая $p_1^{m}=p^{k}$:

$$J=J_1 p^{\frac{k(Z-z)f}{760}e}=J_0 p^{\frac{H-f+k(Z-z)f}{760}e}=J_0 p^{\frac{H+(Z-z)\left(k-\frac{1}{Z-z}\right)f}{760}e}=$$

$$=Jp_0^{\frac{H+(Z-z)kf}{760}e},$$ если пренебречь дробью $\frac{1}{Z-z}$.

§ 68. *Методъ Розетти.* Розетти*) считаетъ методъ Віолля при опредѣленіи атмосфернаго поглощенія наиболѣе раціональнымъ, но не вполнѣ удобнымъ, такъ какъ формула Віолля требуетъ совмѣстныхъ наблюденій на различныхъ высотахъ.

Сначала Розетти думалъ воспользоваться формулою Бугера $q=ab^e$; но оказалось, говоритъ онъ, что эта формула не можетъ представить истиннаго хода явленія въ теченіе цѣлаго дня.

Тогда онъ пытался примѣнить другія эмпирическія формулы и въ особенности слѣдующаго вида: $q=ab^{\frac{e}{l+e}}$, а также $q=\alpha+m\beta^e+n\lambda^e$, гдѣ a, b, m, n, α, β, λ—эмпирическія постоянныя. Но ни одна изъ этихъ формулъ не могла представить съ достаточною точностью измѣненій солнечной радіаціи въ теченіе цѣлаго дня.

Поэтому Розетти, выразивъ дневной ходъ солнечнаго напряженія кривою, раздѣлилъ ее на нѣсколько частей и, примѣняя къ каждой части въ отдѣльности формулу ab^e, вычислялъ всякій разъ постоянныя a и b. Такимъ образомъ для каждаго дня наблюденій онъ получилъ цѣлый рядъ величинъ a и b.

Далѣе Розетти поступилъ слѣдующимъ образомъ: онъ взялъ среднія ариѳметическія изъ всѣхъ значеній e, которыя служили ему для вычисленія каждой отдѣльной величины a, и построилъ кривую, принимая за абсциссы эти среднія ариѳметическія e, а за ординаты—соотвѣтственныя величины a.

Оказалось, что опредѣленныя такимъ образомъ точки располагаются по прямой линіи, при чемъ замѣчается тѣмъ большая правильность, чѣмъ благопріятнѣе были атмосферныя условія въ день наблюденія.

«Хотя методъ», замѣчаетъ Розетти, «и не вполнѣ строгій, тѣмъ не менѣе я рѣшился принять за истинную величину a

*) Rosetti: «Sur la température du soleil, recherches experimentales». Annales de chimie et de physique, 1879, 5 série.

отрѣзокъ на оси ординатъ, взятый между началомъ и точкою пересѣченія прямой съ тою же осью».

Для большей точности Розетти, вмѣсто простого графическаго построенія, опредѣлялъ по способу наименьшихъ квадратовъ коэффиціенты уравненія прямой a=m+ne и потомъ взялъ для солнечной постоянной величину m.

§ 69. *Формула Крова* *). Въ тѣ дни, когда воздухъ отъ восхода до заката солнца достаточно спокоенъ, а небо чисто, совершенно свободно отъ нѣжныхъ бѣлыхъ облаковъ, въ значительной степени измѣняющихъ напряженіе солнечной радіаціи**), Крова обыкновенно въ теченіе цѣлаго дня производилъ наблюденія помощью своего актинометра. Опредѣляя такимъ образомъ для каждаго часа количество калорій, получаемыхъ въ одну минуту квадратнымъ сантиметромъ, при перпендикулярномъ паденіи лучей, Крова чертилъ плавныя кривыя, при чемъ за абсциссы принимались времена наблюденій, а за ординаты измѣренныя напряженія солнечной радіаціи. По наблюденіямъ Крова, эти кривыя только въ рѣдкихъ случаяхъ бываютъ правильны; если же и встрѣчаются таковыя, то онѣ обыкновенно не симметричны относительно ординаты, проходящей черезъ истинный полдень, при чемъ максимумъ всегда бываетъ ранѣе полудня. Ходъ этихъ кривыхъ, въ особенности лѣтомъ, правильнѣе послѣ полудня, нежели утромъ. Такая несимметричность, по мнѣнію Крова, объясняется тѣмъ, что съ восходомъ солнца

---

*) Crova: «Mesure de l'intensité calorifique des radiations solaires et de leur absorption par l'atmosphère terrestre».

Annales de chimie et physique, t. XI, 1877, 5 série.

**) Эти нѣжныя облака, вѣроятно, обязаны верхнимъ теченіямъ, которыя въ соприкосновеніи съ нижними, болѣе теплыми и влажными, сгущаютъ водяной паръ. Нуженъ извѣстный навыкъ, чтобы замѣтить подобную тонкую пленку въ моментъ ея появленія. Въ этомъ случаѣ весьма большую пользу могли бы принести наблюденія поляризаціи неба.

Крова совѣтуетъ для обозрѣнія неба пользоваться двойнымъ желтымъ стекломъ. Голубой цвѣтъ неба почти совершенно поглощается этими стеклами, и наиболѣе нѣжныя cirri довольно отчетливо обрисовываются на темномъ фонѣ неба.

влажная почва начинаетъ нагрѣваться; образуются массы водяныхъ паровъ, которые поднимаются, неправильно смѣшиваются съ воздухомъ, чѣмъ и обусловливаютъ относительную неправильность кривой по утрамъ.

Зимою бываютъ въ Монпелье прекрасные дни, когда возможно производить наблюденія при благопріятныхъ условіяхъ съ утра до вечера. Въ такіе дни, благодаря сухости воздуха и почвы, часовыя кривыя почти совершенно правильны и симметричны. Подобныя наблюденія послужили Крова для вывода закона поглощенія солнечной радіаціи земною атмосферою. Съ этою цѣлью Крова чертитъ кривыя калорій, принимая за абсциссы соотвѣтственныя длины лучей, вычисляемыя по формулѣ Лапласа. Проводя за тѣмъ въ различныхъ точкахъ кривой касательныя, Крова приходитъ къ заключенію, что эти кривыя не логариѳмическія, такъ какъ подкасательныя имѣютъ неодинаковую длину, и, слѣдовательно, формула Бугера-Пулье не выражаетъ дѣйствительнаго закона поглощенія лучей атмосферою.

Сверхъ того Крова построилъ такія же кривыя на основаніи наблюденій Пулье, но при этомъ длина лучей вычислялась не по формулѣ Ламберта, какъ это дѣлалъ Пулье, а по формулѣ Лапласа и по простой формулѣ секансовъ; въ этомъ случаѣ также обнаружилась, по словамъ Крова, непримѣнимость логариѳмическаго закона, такъ какъ и здѣсь подкасательныя увеличивались съ толщиною атмосферы. Но если формула Пулье и не представляетъ дѣйствительнаго закона поглощенія лучей цѣлою атмосферою, тѣмъ не менѣе, говоритъ Крова, она выражаетъ элементарный законъ поглощенія: напряженіе радіаціи, прошедшей черезъ всю толщу атмосферы, должно выражаться формулою $C=\Sigma Ap^e$, которая принята Біо *), для случая прохожденія лучей черезъ рядъ прозрачныхъ пластинокъ.

Поэтому Крова разсматриваетъ построенныя кривыя калорій, какъ состоящія изъ множества логариѳмическихъ дугъ, для

*) Mem. de l'Academ. des sciences, t. XIV, p. 466.

которыхъ A остается постояннымъ, между тѣмъ p увеличивается съ толщиною атмосферы.

На основаніи такихъ соображеній Крова слѣдующимъ образомъ находитъ коэффиціентъ прозрачности p, соотвѣтствующій данной величинѣ e.

Дифференцированіе ур. $y=Ap^x$ даетъ: $\frac{dy}{dx}=Ap^x \, Log. \, p$,

посему $\frac{y}{\frac{dy}{dx}}=\frac{Ap^x}{Ap^x \, Log. \, p}=\frac{1}{Log \, p}$.

Такимъ образомъ для опредѣленія коэффиціента прозрачности p служитъ величина подкасательной $\frac{y}{\frac{dy}{dx}}$. Переходя къ Бригговымъ логариѳмамъ и принимая во вниманіе, что съ увеличеніемъ длины луча x напряженіе y уменьшается, получимъ:

$log. \, p=-\frac{M}{\text{велич. подкасат.}}$, гдѣ $M=0.4342945$.

Проводя плавныя кривыя калорій въ зависимости отъ длины лучей, Крова нашелъ, что для всѣхъ точекъ кривой, которыхъ абсциссы суть 1, 2, 3, 4......, значенія подкасательныхъ, за небольшими отступленіями въ ту или другую сторону, составляютъ ариѳметическую прогрессію.

На основаніи этого Крова слѣдующимъ образомъ выводитъ формулу, выражающую поглощеніе атмосферою солнечной радіаціи. Уравненіе подкасательной имѣетъ видъ $S=c+mx$,

а потому $\frac{y}{\frac{dy}{dx}}=-(c+mx)$, $\frac{dy}{y}=-\frac{dx}{c+mx}$. Интегрируя послѣднее выраженіе, находимъ: $Log. \, y=-\frac{1}{m} Log. (c+mx)+Log. \, C$,

откуда $y=\frac{C}{\sqrt[m]{c+mx}}$; или $y^m=\frac{A}{c+mx}$. Численныя значенія m

и c можно опредѣлить изъ положенія основаній касательныхъ и такимъ образомъ опредѣлить величину A.

Выведенное уравненіе можетъ быть представлено въ видѣ

$$y = \frac{\sqrt[m]{\frac{A}{c}}}{(1+\frac{m}{c}x)^{\frac{1}{m}}},$$ и такъ какъ $\sqrt[m]{\frac{A}{c}}$ выражаетъ солнечную постоянную Q, то послѣднее уравненіе приметъ простѣйшій видъ:

$$y=\frac{Q}{(1+ax)^b}, \dots\dots\dots\dots\dots\dots \text{(1)}.$$

где $a=\frac{m}{c}$ и $b=\frac{1}{m}$.

Если въ дифференціальномъ уравненіи кривой положить $m=0$, т. е. что подкасательная остается постоянною, то получится логариѳмика Пулье.

Дѣйствительно: $\frac{dy}{y}=-\frac{dx}{c}$, откуда $Log.\ y=-\frac{x}{c}+Log.A$;

$Log.\ \frac{y}{A}=-\frac{x}{c}$; $\frac{y}{A}=e^{-\frac{x}{c}}$; $y = Ae^{-\frac{x}{c}}$. Ассимптотою эта кривая имѣетъ ось x-овъ, такъ что напряженіе солнечной радіаціи стремится къ нулю, когда толщина атмосфернаго слоя неопредѣленно увеличивается.

Что касается коэффиціента теплопрозрачности, то онъ опредѣляется слѣдующимъ образомъ.

$$Log.\ p=-\frac{1}{c+mx},\ p=e^{-\frac{1}{c+mx}}.$$

Наименьшее значеніе коэффиціента теплопрозрачности есть $e^{-\frac{1}{c}}$, т. е. у самой границы атмосферы, гдѣ $x=0$.

По мѣрѣ увеличенія толщины атмосферы, коэффиціентъ теплопрозрачности увеличивается, при чемъ стремится къ единицѣ при неопредѣленномъ увеличеніи толщины проходимаго

слоя. Въ этомъ случаѣ напряженіе лучей стремится къ нулю, но прохожденіе ихъ черезъ атмосферу должно происходить безъ всякой потери.

Противъ выведенныхъ формулъ, говоритъ Крова *), можно сдѣлать слѣдующія два возраженія:

1. Постоянныя a, b, c, m не имѣютъ физическихъ значеній.

2. Эти постоянныя не слѣдуютъ никакому опредѣленному закону, такъ что для дней весьма сходныхъ они могутъ имѣть весьма различныя значенія.

Кромѣ того выведенныя формулы требуютъ довольно длинныхъ вычисленій, и только тогда, какъ эти вычисленія приведены уже къ концу, можно судить, насколько удовлетворительно аналитически выражается дневной ходъ солнечнаго напряженія. Между тѣмъ весьма желательно было бы напередъ знать, примѣнима-ли формула къ данной кривой или нѣтъ. Съ этою цѣлью Крова слѣдующимъ образомъ упрощаетъ свои формулы. Онъ нашелъ, что названныя постоянныя могутъ измѣняться между извѣстными предѣлами, при чемъ вліяніе, произведенное уменьшеніемъ одной изъ нихъ, можетъ быть компенсировано соотвѣтственнымъ увеличеніемъ другой. Сверхъ того, такъ какъ постоянная a бываетъ то выше, то ниже единицы, Крова полагаетъ, что $c=m$, т. е. $a=1$; если при этомъ положить $\frac{1}{c}=q$, то формулы принимаютъ слѣдующій видъ:

$$y=\frac{Q}{(1+x)^q},\quad stg=c(1+x),\quad p=e^{-\frac{q}{1+x}}.$$

Такимъ образомъ формулы содержатъ только двѣ постоянныя: Q (солнечная постоянная) и q, которое связано съ коэффиціентомъ теплопрозрачности p уравненіемъ: $q=-(1+x)\,\mathrm{Log.}\,p$.

Коэффиціентъ теплопрозрачности p Крова опредѣляетъ на основаніи того соображенія, что хотя кривая калорій и не можетъ быть вся выражена показательною функціею, тѣмъ не ме-

*) Ann. de chimie et de physique, 6 série, t. XIV, 1888, p 541.

ніе ее можно разсматривать, какъ геометрическое мѣсто пересѣченій логариѳмикъ, въ которыхъ p непрерывно измѣняется вмѣстѣ съ x.

Такимъ образомъ величина подкасательной $stg = \frac{y}{\frac{dy}{dx}} = \frac{1}{Log.\, p}$,

откуда $log.\ p = -\frac{M}{stg}$.

Дифференцируя $y = \frac{Q}{(1+x)^q}$, получимъ:

$\frac{dy}{dx} = \frac{Qq}{(1+x)^{q+1}}$, откуда $\frac{\frac{dy}{dx}}{y} = \frac{q}{1+x}$, $Log.\ p = -\frac{q}{1+x}$.

На границѣ атмосферы $x = 0$, $y = Q$.

$Log.\ p_0 = -q$, $p_0 = e^{-q}$.

Съ возрастаніемъ x проходимость лучей возрастаетъ, и когда $x = \infty$, $p = 1$.

Крова говоритъ, что эти упрощенныя формулы даютъ результаты во всякомъ случаѣ не менѣе согласные съ наблюденіями, чѣмъ прежнія его формулы, а между тѣмъ вычисленія по нимъ значительно упрощаются, и сверхъ того легко опредѣлить, выражается-ли удовлетворительно данная кривая выведенною формулою или нѣтъ?

Для кривой, выражаемой формулою, q опредѣляется двумя значеніями y, соотвѣтствующими абсциссамъ x и x':

$$q = \frac{log.\frac{y}{y'}}{log.\frac{1+x'}{1+x}}.$$

Можно разъ навсегда составить таблицу величинъ $log.\frac{1+x'}{1+x}$ для каждой пары значеній x: 1 и 2, 2 и 3, 3 и 4......; тогда непосредственное вычисленіе q не представитъ никакихъ затрудненій.

Но при этомъ необходимо замѣтить, что значенія солнечной постоянной, опредѣляемыя по упрощенной формулѣ, нѣсколько меньше тѣхъ, какія получаются при помощи первыхъ формулъ.

§ 70. *Методъ Лангле.* Американскій ученый Лангле, о работахъ котораго мы уже говорили, энергично возстаетъ противъ примѣненія формулы Бугера къ солнечному лучу, представляющему цѣлую совокупность простыхъ лучей различной преломляемости. По опредѣленію Лангле длина свѣтовыхъ волнъ измѣняется отъ 0.000375 мм. (фіолетовый) до 0.00076 мм. (красный); въ спектрѣ же темной теплоты длина волнъ доходитъ до 0.003 мм.

Если съ длиною волны простого луча измѣняется цвѣтъ его и показатель преломленія, то естественно предположить, что и коэффиціентъ прозрачности долженъ быть особый для каждаго элементарнаго луча, т. е. поглощеніе солнечныхъ лучей атмосферою должно быть избирательнымъ.

Лангле доказываетъ, что если при вычисленіи поглощенія солнечной энергіи по формулѣ Бугера принимать сложный лучъ за простой, то всегда получается бóльшій коэффиціентъ теплопрозрачности воздуха, или, другими словами, получается слишкомъ малая величина для солнечной постоянной.

Предположимъ сперва, какъ это дѣлаетъ Лангле*), что въ солнечномъ лучеиспусканіи всего только двухъ родовъ лучи, напряженій A и B на границѣ земной атмосферы.

Если коэффиціентъ теплопрозрачности перваго однороднаго луча a, въ тоже время коэффиціентъ другого луча b, то послѣ прохожденія черезъ массу воздуха, толщина которой равна единицѣ, напряженіе перваго луча будетъ Aa, второго Bb; послѣ прохожденія черезъ слой, въ два раза большій: Aa^2 и Bb^2 и т. д.

*) S. P. Langley: «Researches on solar heat». Washington. 1884, chapter X, p. 124.

Такимъ образомъ въ дѣйствительности явленіе представится въ слѣдующемъ видѣ:

На границѣ земной атмосферы полное напряженіе солнечной радіаціи $A+B=J_0$.

Послѣ прохода черезъ одинъ слой напряженіе лучей измѣняется въ $J_1=Aa+Bb$.

Послѣ прохода черезъ два слоя напряженіе лучей измѣняется въ $J_2=Aa^2+Bb^2$.

Но если мы будемъ считать оба луча, достигающіе земной поверхности, однородными, то, примѣняя формулу Пулье-Бугера, получимъ:

$$J_1=J'_0p;\ J_2=J'_0p^2 \text{ и т. д.; откуда } p=\frac{J_2}{J_1}=\frac{Aa^2+Bb^2}{Aa+Bb};$$

вмѣстѣ съ тѣмъ солнечная постоянная опредѣлится выраженіемъ:

$$J'_0=\frac{J_1}{p}=(Aa+Bb):\frac{Aa^2+Bb^2}{Aa+Bb}=\frac{(Aa+Bb)^2}{Aa^2+Bb^2}.$$

Но найденное такимъ образомъ значеніе для солнечной постоянной J_0' всегда менѣе J_0, истиннаго напряженія лучей на границѣ земной атмосферы.

Дѣйствительно, упрощая неравенство $\frac{(Aa+Bb)^2}{Aa^2+Bb^2}<A+B$, получимъ: $2ab<a^2+b^2$, или $(a-b)^2>0$, что всегда имѣетъ мѣсто, если только a и b различны, при чемъ ошибка въ опредѣленіи солнечной постоянной должна возрастать, по мѣрѣ увеличенія разности между коэффиціентами теплопрозрачности элементарныхъ лучей.

Тоже самое можно сказать относительно какого угодно числа элементарныхъ лучей съ особыми коэффиціентами теплопрозрачности. Такимъ образомъ, если солнечная энергія L, вступая въ нашу атмосферу, состоитъ изъ элементовъ $A_1, A_2, A_3 \ldots$, которымъ соотвѣтствуютъ коэффиціенты теплопрозрачности a_1, a_2, $a_3 \ldots$, то $L=\frac{(A_1a_1)^2}{A_1a_1^2}+\frac{(A_2a_2)^2}{A_2a_2^2}+\ldots=\sum\frac{(Aa)^2}{Aa^2}=\Sigma A$

и всегда должно быть больше, нежели $L_1 = \frac{(\Sigma Aa)^2}{\Sigma Aa^2}$, опредѣляемое по простой формулѣ.

По гипотезѣ Бугера-Пулье коэффиціентъ теплопрозрачности считается постояннымъ для всѣхъ слоевъ атмосферы; между тѣмъ на самомъ дѣлѣ онъ непрерывно увеличивается съ толщиною проходимаго слоя, по мѣрѣ приближенія солнца къ горизонту.

Въ самомъ дѣлѣ, такъ какъ $Aa^3 - Aa^4 = (Aa^2 - Aa^3)a$, гдѣ $a < 1$, то $Aa^2 - Aa^3 > Aa^3 - Aa^4$, также и $Bb^2 - Bb^3 > Bb^3 - Bb^4$; откуда $(Aa^2 + Bb^2) - (Aa^3 + Bb^3) > (Aa^3 + Bb^3) - (Aa^4 + Bb^4)$; почему $\frac{Aa^3 + Bb^3}{Aa^2 + Bb^2} < \frac{Aa^4 + Bb^4}{Aa^3 + Bb^3}$, такъ какъ разность между числителями этихъ двухъ дробей меньше, нежели между знаменателями.

И вообще $\frac{Aa^{n+1} + Bb^{n+1} + Cc^{n+1} + Dd^{n+1} + \ldots}{Aa^n + Bb^n + Cc^n + Dd^n + \ldots} < \frac{Aa^{n+2} + Bb^{n+2} + Cc^{n+2} + Dd^{n+2} + \ldots}{Aa^{n+1} + Bb^{n+1} + Cc^{n+1} + Dd^{n+1} + \ldots}$, т. е. въ каждомъ предыдущемъ слоѣ коэффиціентъ теплопрозрачности долженъ быть менѣе, нежели въ послѣдующемъ.

Такимъ образомъ, заключаетъ Лангле, если отдѣльные коэффиціенты теплопрозрачности положительны и менѣе единицы, какъ это и есть на самомъ дѣлѣ въ природѣ, то общій коэффиціентъ теплопрозрачности, вычисляемый по простой логариѳмической формулѣ, вопервыхъ, не постояненъ; вовторыхъ, всегда слишкомъ великъ; въ третьихъ, становится все больше и больше, по мѣрѣ приближенія солнца къ горизонту; въ четвертыхъ, солнечная постоянная, найденная на основаніи наблюденій при помощи обыкновенной формулы, оказывается всегда слишкомъ малою.

Для поясненія сказаннаго Лангле приводитъ примѣрную таблицу, по которой предполагается, что солнечная энергія, на границѣ нашей атмосферы, состоитъ изъ десяти отдѣльныхъ

частей, при чемъ соотвѣтственные коэффиціенты теплопрозрачности постепенно возрастаютъ отъ 0.0 до 0.9.

Первонач. напряженіе.	Коэффиц. прохожд.	Напряжен. послѣ $^2/_3$ атм.	Напряж. послѣ 1 атм.	Напряжен. послѣ 2 атм.	Напряжен. послѣ 3 атм.
1	0.0	0.000	0.0	0.00	0.000
1	0.1	0.215	0.1	0.01	0.001
1	0.2	0.342	0.2	0.04	0.008
1	0.3	0.448	0.3	0.09	0.027
1	0.4	0.531	0.4	0.16	0.064
1	0.5	0.630	0.5	0.25	0.125
1	0.6	0.711	0.6	0.36	0.216
1	0.7	0.788	0.7	0.49	0.343
1	0.8	0.862	0.8	0.64	0.512
1	0.9	0.932	0.9	0.81	0.729
10		5.459	4.5	2.85	2.025

Первая колонна представляетъ составъ солнечной энергіи на границѣ однородной атмосферы; третья показываетъ напряженіе каждой части послѣ прохожденія черезъ двѣ трети всей атмосферы; четвертая означаетъ напряженіе солнечной энергіи у уровня океана при вертикальномъ паденіи лучей; пятая колонна, а также шестая, показываютъ напряженіе солнечной энергіи до и послѣ полудня, когда sec. θ равенъ 2 и 3.

Тогда, на основаніи предыдущихъ формулъ, получимъ:

$$\frac{Aa + Bb + Cc + \ldots}{Aa^{2/3} + Bb^{2/3} + Cc^{2/3} + \ldots} = p^{1/3} = \frac{4.5}{5.459} = 0.824 \left\{ \begin{array}{l} Ep^{2/3} = 5.459,\ p = 0.560 \\ Ep = 4.5, \quad E = 8.04. \end{array} \right.$$

$$\frac{Aa^2 + Bb^2 + Cc^2 + \ldots}{Aa + Bb + Cc + \ldots} = p = \frac{2.85}{4.5} = 0.633 \left\{ \begin{array}{l} Ep = 4.5, \quad p = 0.633 \\ Ep^2 = 2.85, E = 7.11. \end{array} \right.$$

$$\frac{Aa^3 + Bb^3 + Cc^3 + \ldots}{Aa + Bb + Cc + \ldots} = p^2 = \frac{2.025}{4.5} = 0.450 \left\{ \begin{array}{l} Ep = 4.5, \quad p = 0.671 \\ Ep^3 = 2.025, E = 6.71. \end{array} \right.$$

По этой таблицѣ актинометрическія наблюденія на вершинѣ Уитней должны дать 5.46 калорій, такъ что, примѣняя формулу Пулье, получимъ для коэффиціента теплопрозрачности 0.56 и для солнечной постоянной 8.

Такимъ образомъ, говоритъ Лангле, при тѣхъ идеально-благопріятныхъ условіяхъ, когда по предположенію всѣ слои одинаковой плотности имѣютъ одну и туже проходимость, найденное значеніе для солнечной постоянной должно составлять только $^4/_5$ всего числа лучей, на самомъ дѣлѣ вступающихъ въ нашу атмосферу. Если же мѣсто наблюденія расположено у поверхности океана, то въ полдень, при вертикальномъ паденіи лучей, найдено будетъ 4.5 калорій, а когда зенитное разстояніе солнца увеличится настолько, что масса проходимаго воздуха будетъ въ два раза больше, то напряженіе лучей, достигающихъ земной поверхности, станетъ равнымъ 2.85 калорій. Комбинируя эти два значенія, по формулѣ Пулье найдемъ для коэффиціента теплопрозрачности 0.63 и для солнечной постоянной почти 7. Между тѣмъ, такъ какъ напряженіе лучей, вступающихъ въ нашу атмосферу, равно 10, то коэффиціентъ теплопрозрачности долженъ быть равенъ 0.45, т. е. при употребленіи простой формулы Пулье для коэффиціента теплопрозрачности получается противъ дѣйствительности гораздо большее значеніе, а для солнечной постоянной меньшее. Наконецъ, если сравнить наблюденія, произведенныя въ полдень, при вертикальномъ паденіи лучей, съ тѣми, какія получены при толщинѣ атмосферы въ три раза большей, то для коэффиціента теплопрозрачности найдемъ 0.67 и для солнечной постоянной 6.7.

§ 71. *Методъ Фрелиха.* По выводамъ Лангле, если изъ двухъ простыхъ лучей каждый въ отдѣльности слѣдуетъ логариѳмическому закону поглощенія, то ихъ сумма всегда отъ этого закона уклоняется, и потому Лангле, какъ мы видѣли, приходитъ къ заключенію, что простая формула Бугера-Пулье не

можетъ быть примѣнима къ цѣлому пучку лучей различной преломляемости.

Выводы американскаго ученаго энергично оспариваются Фрелихомъ *), который утверждаетъ, что ученію Лангле противорѣчатъ его личныя наблюденія, ясно доказывающія справедливость простого логариѳмическаго закона для всей солнечной энергіи, если только не принимать во вниманіе измѣреній, сдѣланныхъ при незначительныхъ высотахъ солнца.

По мнѣнію Фрелиха, наблюденія Лангле нисколько не доказываютъ справедливости логариѳмическаго закона поглощенія и для элементарныхъ лучей, такъ какъ Лангле производилъ для каждаго простого луча не болѣе двухъ наблюденій въ теченіе дня, что весьма недостаточно.

Для элементарныхъ лучей, замѣчаетъ Фрелихъ, также можетъ не имѣть мѣста простой логариѳмическій законъ: лучъ въ атмосферѣ претерпѣваетъ не только одно поглощеніе; къ послѣднему присоединяется дѣйствіе отраженія на пограничныхъ поверхностяхъ атмосферныхъ слоевъ, а также дѣйствіе пыли въ нижнихъ слояхъ атмосферы, которое вообще слѣдуетъ другому закону, нежели поглощеніе. Но относительно отраженія лучей, вступающихъ въ различные слои атмосферы, у насъ нѣтъ никакихъ теоретическихъ изслѣдованій.

Если разсматривать всю толщу атмосферы, какъ однородный слой, то, согласно выведенной уже нами формулѣ (5) **):

$W = Se^{-\alpha z}$, гдѣ W—измѣряемое напряженіе лучей, S—напряженіе тѣхъ же лучей на границѣ земной атмосферы, α—коэффиціентъ поглощенія, z—длина лучей въ атмосферѣ.

---

*) Frölich: «Messungen der Sonnenwärme». Wiedemann's Annal., Bd. XXI, p, 1884. Bd. XXX, 1887.

«Ueber das Gesetz der Absorption der Sonnenwärme in der Atmosphäre». Meteorologische Zeitschr., 1888, p. 382.

«Zur Absorption der Sonnenwärme in Atmosphäre». Meteorolog. Zeitschr., 1889, Februar.

**) См. стр. 224.

Но предполагая, что коэффиціентъ поглощенія непрерывно измѣняется отъ одного слоя атмосферы къ другому, мы будемъ имѣть вмѣсто предыдущей формулы: $W = Se^{-S_0^z \alpha dz}$, гдѣ α—функція отъ z.

Если же при этомъ принять во вниманіе избирательное поглощеніе лучей, длина волнъ которыхъ $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \ldots\ldots$, то $S = S_1 + S_2 + S_3 + \ldots\ldots$

$W = W_1 + W_2 + W_3 + \ldots\ldots$

Такимъ образомъ, даже не принимая во вниманіе отраженія лучей, мы будемъ имѣть сложное выраженіе:

$$W = S_1 e^{-S_0^z \alpha_1 dz} + S_2 e^{-S_0^z \alpha_2 dz} + \ldots\ldots\ldots$$

Такъ какъ въ настоящее время наука не можетъ дать удовлетворительныхъ отвѣтовъ относительно послѣдовательности атмосферныхъ слоевъ, измѣненія коэффиціента поглощенія, а также другихъ причинъ, вліяющихъ на солнечную радіацію, то теоретическій путь изслѣдованія, говоритъ Фрелихъ, должно оставить; необходимо обратиться къ методу чисто эмпирическому.

По простой формулѣ Бугера-Пулье: $\log. W = \log. S - \alpha z \log. e$, т. е. если на оси абсциссъ откладывать пути лучей въ атмосферѣ, а на ординатахъ—логариѳмы измѣряемыхъ напряженій у земной поверхности, то получается прямая линія.

Согласно же выводамъ Лангле, должна, напротивъ, получиться кривая, вогнутая къ началу координатъ.

Между тѣмъ Фрелихъ доказываетъ справедливость простого логариѳмическаго закона для цѣлаго пучка лучей не только на основаніи своихъ собственныхъ наблюденій, произведенныхъ имъ въ 1881 и 1882 годахъ, но и наблюденій самого Лангле. Воспользовавшись данными Лангле кривыми для солнечной теплоты, до и послѣ поглощенія въ атмосферѣ, Фрелихъ механическимъ путемъ опредѣляетъ площади по частямъ и въ цѣломъ, откладываетъ логариѳмы найденныхъ такимъ образомъ напря-

женій, какъ ординаты, и пути лучей, какъ абсциссы, и находитъ, что для отдѣльныхъ частей солнечной энергіи кривыя значительно уклоняются отъ прямыхъ линій; по мѣрѣ же того, какъ вычисленныя площади захватываютъ бо́льшую часть солнечной энергіи, проводимыя кривыя выпрямляются. На основаніи этого Фрелихъ приходитъ къ заключенію, что для всей солнечной теплоты простой логариѳмическій законъ слѣдуетъ считать справедливымъ.

«Этотъ законъ», говоритъ Фрелихъ *), «чисто эмпирическій, можно сказать, только благодаря счастливой случайности, совпадаетъ съ нашими измѣреніями; напряженіе отдѣльныхъ лучей, отраженіе и поглощеніе въ атмосферѣ такъ сопоставлены, что сумма всѣхъ достигающихъ земной поверхности лучей слѣдуетъ этому простому закону» **).

Какую же именно величину принимать за независимую перемѣнную? Поглощеніе теплоты въ атмосферѣ зависитъ отъ массы проходимаго воздуха, массы водяного пара, жидкихъ и твердыхъ веществъ, находящихся въ воздухѣ. По мнѣнію Фрелиха ***), только опредѣленіе массы проходимаго воздуха можетъ быть сдѣлано съ нѣкоторою точностью; изъ всѣхъ же прочихъ, даже опредѣленіе массы проходимаго водяного пара онъ считаетъ весьма проблематичною попыткою. Съ такимъ же недовѣріемъ относится Фрелихъ къ допускаемой многими учеными зависимости между напряженіемъ солнечной теплоты и барометрическимъ давленіемъ, а также влажностью.

---

*) Wiedem. Ann., Bd. XXX, 1887, p. 585.

**) Замѣчательно, что капитанъ Абней изъ своихъ оптическихъ наблюденій въ Лондонѣ на высотѣ 8000 футовъ нашелъ справедливымъ простой законъ поглощенія для всего свѣтового луча, при различныхъ зенитныхъ разстояніяхъ солнца. Phil. Trans. 1887, vol. 178, A. p. 251; Met. Zeitschr. Febr. 1887. (II).

***) Frölich: «Ueber das Gesetz der Absorption der Sonnenwärme in der Atmosphäre». Meteorologische Zeitschrift 1888, p. 382.

На основаніи этого онъ принимаетъ за независимую перемѣнную просто длину луча въ атмосферѣ, вычисляемую по формулѣ Ламберта:

$$z = -R \operatorname{Sin.} h + (R+H)\sqrt{1-\left(\frac{R}{R+H}\right)^2 \cos^2 h},$$

гдѣ R—земной радіусъ, h—высота солнца, H—высота земной атмосферы *).

Пулье, какъ извѣстно, на основаніи наблюденія сумерекъ, принималъ для высоты атмосферы 80 киллометровъ; между тѣмъ Радо, какъ мы видѣли, находитъ, что эта величина должна быть значительно понижена, а именно до 10 киллометровъ, такъ какъ поглощеніе солнечной радіаціи главнымъ образомъ происходитъ въ нижнихъ слояхъ атмосферы. Фрелихъ склоняется на сторону Пулье на основаніи слѣдующихъ соображеній.

Если бы атмосферу можно было представить въ видѣ плоскихъ параллельныхъ слоевъ, то отношеніе элемента пути луча къ элементу толщины атмосферы во всѣхъ слояхъ сохраняло бы одно и тоже значеніе, а именно $\frac{dz}{dH} = \frac{z}{H}$, и тогда бы $\int_0^z adz = \frac{z}{H}\int_0^H adH = \alpha\zeta$, гдѣ $\zeta = \frac{z}{H}$ Фрелихъ называетъ «отношеніемъ пути». Въ этомъ выраженіи $\alpha = \int_0^H adH$ зависитъ только отъ природы луча и состоянія атмосферы, но не зависитъ отъ того, въ какомъ порядкѣ слѣдуютъ слои одинъ за другимъ. На самомъ же дѣлѣ слои атмосферы нѣсколько изогнуты, и указанныя отношенія не вполнѣ точны. Тѣмъ не менѣе Фрелихъ, опираясь на подобные же выводы Клаузіуса **), считаетъ формулу $W = S^{-\frac{z}{H}\int_0^H adH}$ «свободною отъ пред-

*) Ср. съ форм. (4) на стр. 220, гдѣ приведена длина луча по отношенію къ высотѣ атмосферы.

**) Crelle's J. Bd. 34, p. 129.



положеній» *) и на основаніи этого заключаетъ, что, такъ какъ интегрированіе распространяется на *всѣ поглощающіе слои*, по вертикальному направленію, и значеніе $\frac{z}{H}\int_0^H adH$ не зависитъ отъ распредѣленія поглощающихъ массъ, то относительно высоты атмосферы болѣе удачный выборъ сдѣлалъ Пулье. Но основное положеніе Фрелиха, что для всѣхъ слоевъ атмосферы $\frac{dz}{dH}$ весьма близко къ $\frac{z}{H}$, ошибочно, какъ это доказывается Зенкеромъ **), который вычислилъ «отношенія путей» для зенитныхъ разстояній солнца въ 70° и 80°, въ слояхъ: 0—10 кил., 10—20 кил., и т. д. до 80 кил.

Порядокъ слоевъ	$\frac{dz}{dH}$	
	$\varphi=70°$,	$\varphi=80°$
1	2.91	5.61
2	2.87	5.36
3	2.83	5.14
4	2.79	4.94
5	2.76	4.76
6	2.73	4.60
7	2.70	4.45
8	2.67	4.32.

Изъ приведенной таблицы можно видѣть, что для большихъ зенитныхъ разстояній отношеніе $\frac{dz}{dH}$ не остается однимъ и тѣмъ же во всѣхъ слояхъ; при этомъ отношеніе для перваго снизу слоя увеличивается въ 1.93 раза, когда φ отъ 70° возрастаетъ до 80°, а для верхняго только въ 1.62 раза

*) «Ueber das Gesetz der Absorption der Sonnenwärme in der Atmosphäre». Meteorologische Zeitschrift, 1888.

**) Zenker: «Ueber die Absorption der Sonnenwärme in der Atmosphäre». Meteorologische Zeitschrift, 1888. Decembre.

«Поэтому всѣ результаты Фрелиха», заключаетъ Зенкеръ, «ошибочны; его наблюденія не дали бы никакой прямой линіи, если бы онъ вычислялъ высоту атмосферы при другомъ предположеніи. Вотъ почему я не упоминалъ о его работахъ *) послѣ того, какъ я высказался на страницѣ 32 противъ допущенія Пулье» **).

Фрелихъ слѣдующимъ образомъ возражаетъ Зенкеру: «Мнѣніе это (Зенкера) основано на ошибочномъ пониманіи моей работы, такъ какъ я не пользуюсь своимъ предложеніемъ, чтобы вывести законъ поглощенія, но только—чтобы опредѣлить истинный выборъ высоты атмосферы, для вычисленія длины пути. Я не изслѣдовалъ теоретическаго основанія закона поглощенія, вытекающаго изъ моихъ наблюденій, и не считаю его возможнымъ. Найденный чисто экспериментальнымъ путемъ результатъ этого изслѣдованія состоитъ въ томъ, что при ясномъ небѣ поглощеніе солнечной теплоты, до незначительныхъ высотъ солнца, слѣдуетъ простому логариѳмическому закону, если при вычисленіи длины пути ввести истинное значеніе атмосферной высоты; при этомъ результатѣ теоретическія разсужденія вообще не могутъ измѣниться».

Ангстремъ полагаетъ, что, если по наблюденіямъ Фрелиха вблизи Берлина можно считать справедливымъ простой законъ поглощенія солнечныхъ лучей въ атмосферѣ, то явленіе это обусловливается большимъ содержаніемъ углекислоты, присущимъ континентальнымъ климатамъ, особенно вблизи многолюдныхъ центровъ ***).

Дѣйствительно, Ангстремъ нашелъ въ инфра-красной части спектра область, преимущественно поглощаемую углекислотою.

---

*) Фрелихъ говоритъ: «Зенкеръ хотя упоминаетъ о моемъ термоэлектрическомъ приборѣ, но не упоминаетъ о моихъ работахъ». Met. Zeitschr. 1888.

**) Versch. d. Wärme auf d. Erdoberfläche. Berlin. 1888.

***) Met. Zeitschr. 1889, Februar.

****) Knut Angström: «Beobachtungen über die Strahlung der Sonne». Ann. der Physik und Chemie. Bd. XXXIX, heft 2, p. 295. 1890.

Лучи, принадлежащіе этой невидимой части спектра, пройдя черезъ слой углекислоты, толщиною въ 0.5 метра, при дальнѣйшемъ распространеніи слѣдуютъ довольно приблизительно простому закону поглощенія.

Въ виду этого Ангстремъ пользуется формулою, содержащею только два члена: $i = A_1 p_1^d + A_2 p_2^d$, гдѣ первый членъ соотвѣтствуетъ той части солнечной энергіи, которая слабо поглощается углекислотою, а второй—обусловливается поглощеніемъ лучей инфра-красной части содержащеюся въ атмосферѣ углекислотою.

ГЛАВА XX.

Радіація небеснаго свода.

§ 72. Мы разсматривали поглощеніе солнечныхъ лучей въ атмосферѣ, когда небо чисто, совершенно свободно отъ облаковъ; но такихъ дней въ году бываетъ чрезвычайно мало, не болѣе 1.9%, согласно наблюденіямъ Крова.

Обыкновенно же небесный сводъ болѣе или менѣе бываетъ покрытъ облаками, которыя иногда въ продолженіе нѣсколькихъ дней задерживаютъ лучи, непосредственно идущіе отъ солнца.

Въ такое время земная поверхность преимущественно получаетъ лучистую энергію отъ различныхъ точекъ небеснаго свода.

При совершенно ясномъ небѣ лучеиспусканіе небеснаго свода сравнительно мало увеличиваетъ дѣйствіе непосредственныхъ солнечныхъ лучей; въ этомъ случаѣ разсѣянный свѣтъ преобладаетъ въ общей радіаціи только при восходѣ и закатѣ солнца.

Высокія же перистыя (cirri) и бѣлыя кучевыя облака (cumuli), если не закрываютъ солнечнаго диска, своимъ отраженнымъ свѣтомъ значительно усиливаютъ ясность дня.

Клаузіусъ *) пытался вычислить относительныя напряженія солнечныхъ лучей и разсѣяннаго свѣта, исходя изъ той гипотезы, что послѣдній обусловливается отраженіемъ лучей пузырьками паровъ, носящихся въ атмосферѣ. За единицу напряженія лучей Клаузіусъ принимаетъ такое количество свѣта, которое получала бы, при отсутствіи атмосферы, горизонтальная поверхность отъ солнца, находящагося въ зенитѣ.

Тогда напряженіе лучей, падающихъ на ту же поверхность, но при зенитномъ разстояніи солнца z, должно быть равно $\cos z$; вслѣдствіе же поглощенія лучей въ атмосферѣ, оно обратится въ $\cos z\, p^e$, и разность $\cos z\,(1-p^e)$ представитъ потерю солнечныхъ лучей при переходѣ черезъ атмосферу.

Нѣкоторая часть этой задержанной энергіи поглощается атмосферою, или же посылается въ междупланетное пространство, другая же часть, отражаясь къ намъ газообразными молекулами, является въ видѣ разсѣяннаго свѣта. Отношеніе Z потерянной энергіи къ отраженной и разсѣянной есть функція зенитнаго разстоянія z и не зависитъ отъ коэффиціента p.

Тогда напряженіе разсѣяннаго свѣта небеснаго свода можно представить въ видѣ $C=Z\cos z\,(1-p^e)$.

При помощи этой формулы, для $p=0.75$ и $e=\sec z$, вычислена была слѣдующая таблица **):

			Солнце.		Небо.	Полный свѣтъ.	
Высота солнца	z	Z	J	S	C	C+S	C+J
10°	80°	0.48	0.19	0.03	0.07	0.10	0.26
15°	75°	0.53	0.33	0.09	0.09	0.18	0.42
20°	70°	0.58	0.43	0.15	0.11	0.26	0.54
25°	65°	0.61	0.51	0.21	0.13	0.34	0.64
30°	60°	0.63	0.56	0.28	0.14	0.42	0.70
35°	55°	0.65	0.61	0.35	0.15	0.50	0.76

*) Poggendorf's Ann. Vol. 129, p. 230, 1866.

**) Radau: actinometrie, p. 37.

40°	50°	0.67	0.64	0.41	0.16	0.57	0.80
50°	40°	0.70	0.69	0.53	0.17	0.70	0.86
60°	30°	0.72	0.72	0.62	0.18	0.80	0.90
70°	20°	0.73	0.74	0.69	0.18	0.87	0.92
80°	10°	0.74	0.75	0.74	0.18	0.92	0.93
90°	0°	0.74	0.75	0.75	0.19	0.94	0.94.

Въ приведенной таблицѣ $J=p^{e}$ означаетъ напряженіе солнечныхъ лучей, падающихъ перпендикулярно на освѣщаемую поверхность (нормальная сила солнца); $S=J\cos z$—вертикальная сила солнца.

Таблица показываетъ, что потеря, происходящая вслѣдствіе поглощенія солнечныхъ лучей, отчасти пополняется разсѣяннымъ свѣтомъ. Если положить $p=0.60$, то даже при высотѣ солнца 30° вертикальная слагающая S равна 0.18, а напряженіе разсѣяннаго свѣта 0.20.

Кромѣ того изъ прилагаемой таблицы можно видѣть, что разсѣянный свѣтъ C составляетъ приблизительно четвертую часть нормальной силы J солнечныхъ лучей.

Сумма $C+S$ представляетъ дѣйствіе всего дневного свѣта на горизонтальную поверхность; для нея приблизительно выполняется равенство:

$$C+S=\cos(z+5^{\circ}),$$

т. е., благодаря разсѣянному свѣту, горизонтальная поверхность въ общемъ получаетъ освѣщеніе, почти равное тому, какое бы она получала, если бы не было атмосферы, а солнце было ниже на 5°.

Сумма $J+C$ наиболѣе соотвѣтствуетъ энергіи, получаемой листвою растеній, отъ дѣйствія всего дневного свѣта.

Это и есть та энергія, тепловое напряженіе которой опредѣляется въ Монсури, при помощи актинометровъ Маріе-Дави.

Въ книгѣ Лангле между прочимъ приведено опредѣленіе радіаціи небеснаго свода на Аллеганахъ *) 30 октября 1883

*) «Sky radiation», Chapter XV, p. 158.

года. При помощи фотометра Бунзена найдено было, что въ этотъ безоблачный день, при высотѣ солнца въ 38°, разсѣянный свѣтъ небеснаго свода составлялъ 0.19 напряженія лучей, испускаемыхъ центральною частью солнечнаго диска. Такъ какъ при этомъ измѣренія показали, что средняя ясность солнечнаго диска составляетъ 0.8 блеска въ центральной его части, то отсюда отношеніе лучеиспусканія небеснаго свода къ среднему напряженію солнечныхъ лучей: $\frac{0.19}{0.8}=0.24$. Такимъ образомъ результаты фотометрическихъ измѣреній на Аллеганахъ согласны съ теоретическими выводами Клаузіуса.

ГЛАВА XXI.

Общее заключеніе.

§ 73. Газообразная оболочка земного шара поглощаетъ, какъ мы видѣли, значительную часть солнечной энергіи. Весьма важно установить по возможности точную аналитическую зависимость между элементами, характеризующими поглощающую средину, и напряженіемъ солнечнаго лучеиспусканія, чтобы такимъ образомъ возможно было опредѣлить, какое именно количество лучистой энергіи, при извѣстной высотѣ солнца надъ горизонтомъ, достигаетъ земной поверхности и какъ велико напряженіе солнечныхъ лучей на верхней границѣ поглощающаго слоя.

Такая аналитическая зависимость дана была впервые Бугеромъ для свѣтовыхъ лучей; впослѣдствіи Пулье примѣнилъ формулу Бугера и къ тепловой радіаціи солнца, при чемъ, для вычисленія длины пути лучей въ атмосферѣ, принята была формула Ламберта.

Выражая напряженіе лучистой энергіи солнца помощью простой логариѳмической формулы, Пулье и его послѣдователи разсматривали атмосферу земли, какъ однородную средину, а

всю совокупность лучей различной преломляемости, какъ бы одинъ простой лучъ.

Но на самомъ дѣлѣ атмосфера состоитъ изъ цѣлаго ряда разнородныхъ слоевъ, составъ которыхъ подверженъ непрерывнымъ измѣненіямъ. Такимъ образомъ поглощеніе лучей въ атмосферѣ есть весьма сложная функція, которая едва-ли можетъ быть выражена простою формулою Бугера.

Опираясь на свои собственныя наблюденія, а также экспериментальныя изслѣдованія другихъ физиковъ, Соре и въ особенности Віолль старались выразить аналитически напряженіе солнечныхъ лучей въ зависимости отъ барометрическаго давленія и гигрометрическаго состоянія воздуха.

Но подобныя попытки выразить напряженіе лучей, прошедшихъ черезъ земную атмосферу, въ зависимости отъ этихъ факторовъ, несомнѣнно оказывающихъ вліяніе на солнечную энергію, преждевременны, такъ какъ, при настоящемъ состояніи науки, мы не знаемъ распредѣленія водяныхъ паровъ въ атмосферѣ, а также пониженія температуры съ высотою и, наконецъ, не знаемъ самой высоты атмосферы.

Правда, Віолль приходитъ къ своей формулѣ, какъ бы къ строгому выводу, полученному на основаніи извѣстныхъ физическихъ законовъ; но для такихъ выводовъ мы не имѣемъ достаточно данныхъ.

Вмѣстѣ съ тѣмъ лучистая энергія распространяется въ видѣ пучковъ разнородныхъ лучей, на которые земная атмосфера, безъ сомнѣнія, оказываетъ неодинаковое дѣйствіе.

Поэтому при выводѣ формулы теоретическимъ путемъ необходимо принимать во вниманіе также и избирательное поглощеніе солнечной энергіи земною атмосферою.

Такимъ образомъ необходимо обратиться къ изслѣдованію дѣйствія земной атмосферы на отдѣльные элементы солнечнаго спектра

Въ этомъ отношеніи Лангле внесъ своими болометрическими измѣреніями чрезвычайно цѣнный вкладъ въ науку; но изслѣдованія американскаго ученаго не могутъ еще имѣть рѣшающаго значенія. Методъ Лангле представляетъ наиболѣе раціональный путь къ рѣшенію задачи; онъ долженъ быть весьма плодотворнымъ, но, къ сожалѣнію, требуетъ необыкновенныхъ экспериментальныхъ средствъ.

Для строгаго выполненія задачи во время экспедиціи на гору Уитней потребовался бы цѣлый рядъ сравнимыхъ болометровъ и огромное число опытныхъ наблюдателей.

Лангле долженъ былъ отказаться отъ мысли производить одновременныя болометрическія наблюденія на верхней и нижней станціяхъ; даже на одной и той же станціи онъ могъ изслѣдовать всего только два или три раза въ день всѣ части солнечнаго спектра.

Такимъ образомъ, при настоящемъ состояніи науки, намъ даже неизвѣстно, насколько простая формула Бугера-Пулье примѣнима къ элементарнымъ лучамъ. Быть можетъ, благодаря неоднородности атмосферы, а также потерѣ лучистой энергіи путемъ отраженія отъ различно-плотныхъ слоевъ воздуха и атмосферной пыли, и для элементарныхъ лучей простой логариѳмическій законъ есть только первое приближеніе болѣе общаго закона.

Фрелихъ именно и утверждаетъ, что простой логариѳмическій законъ, съ теоретической точки зрѣнія, не можетъ быть вѣренъ для однороднаго луча, но что тѣмъ не менѣе формула Бугера, какъ чисто эмпирическая, довольно точно, благодаря «весьма счастливой случайности», выражаетъ результаты его наблюденій *).

Но если наблюденія Фрелиха, которыя вообще не многочисленны, по какой-то счастливой случайности, и на самомъ

*) О тѣхъ, которые видятъ единственное средство въ изслѣдованіи отдѣльныхъ лучей, Фрелихъ говоритъ, «das sie den Wald vor lauter Bäumen nicht sehen».

дѣлѣ весьма точно выражаются простою логариѳмическою формулою, то во всякомъ случаѣ, при измѣняющемся составѣ атмосферы земной, трудно разсчитывать на постоянное совпаденіе такихъ благопріятныхъ условій.

Впрочемъ мнѣніе Фрелиха заслуживаетъ вниманія, такъ какъ оно подтверждается наблюденіями Абнея *), который также нашелъ, что, хотя поглощеніе въ атмосферѣ различныхъ лучей неодинаковое, тѣмъ не менѣе для всего сложнаго луча вѣренъ простой логариѳмическій законъ.

Кромѣ того аналогичный фактъ приводитъ изъ своихъ экспериментальныхъ изслѣдованій Ангстремъ **), который нашелъ, что въ углекислотѣ, какъ и въ воздухѣ, поглощеніе лучей избирательное; но когда уже пройденъ лучами слой углекислоты, толщиною въ $1/2$ метра, то поглощеніе въ тепловой части спектра приблизительно происходитъ по закону Пулье.

Бартоли и Страчіати ***) нашли, что простая логариѳмическая формула примѣнима лишь въ весьма тѣсныхъ предѣлахъ измѣненія толщины атмосферы, проходимой лучами.

Крова, отрицая справедливость простого логариѳмическаго закона, вывелъ изъ своихъ многочисленныхъ актинометрическихъ наблюденій чисто эмпирическую формулу; но она довольно сложна, и вмѣстѣ съ тѣмъ постоянныя этой формулы оказываются весьма неодинаковыми для различныхъ дней наблюденія.

Такимъ образомъ для опредѣленія поглощенія солнечныхъ лучей земною атмосферою чаще всего примѣняется логариѳмическая формула; но при этомъ нѣкоторые ученые пользуются простою логариѳмическою формулою:

$$Q = Ap^{e} \qquad (1),$$

съ однимъ и тѣмъ же коэффиціентомъ прозрачности для всѣхъ разнородныхъ лучей; другіе же, слѣдуя методу Лангле, пользуются формулою болѣе общаго вида:

$$Q = \sum A_{\lambda} p_{\lambda}^{e} \qquad (2),$$

*) Meteorol. Zeitchr. 1888, p. [II].
**) Wied. Ann., Bd. XXXIX, 1890, p. 295, heft. 2.
***) Nuovo Cimento (3), t. XXIX, 1891, p. 69.

гдѣ A и p имѣютъ различныя значенія для лучей различной длины волнъ.

Нѣкоторые лучи, благодаря дѣйствію атмосферы, при достиженіи земной поверхности, или совершенно затухаютъ, или же являются настолько ослабленными, что могутъ быть обнаружены только такими чувствительными приборами, какъ болометръ Лангле.

Очевидно, чѣмъ точнѣе будутъ изслѣдованы отдѣльныя части солнечнаго спектра, тѣмъ съ большимъ приближеніемъ можетъ быть опредѣлено напряженіе солнечнаго лучеиспусканія на границѣ земной атмосферы. Въ этомъ случаѣ, конечно, необходимо пользоваться формулою (2).

Но вопросъ о напряженіи солнечныхъ лучей на границѣ земной атмосферы, хотя самъ по себѣ, какъ и вопросъ о температурѣ солнца, въ высшей степени интересный, не имѣетъ существеннаго значенія въ метеорологіи. Распредѣленіе солнечной теплоты на земной поверхности въ различныя времена года и дня составляетъ одну изъ главнѣйшихъ задачъ метеорологіи.

При рѣшеніи подобной задачи методъ Лангле, безъ сомнѣнія, не можетъ быть примѣнимымъ; въ этомъ случаѣ, вопреки рѣзкому замѣчанію Пернтера *), можно довольствоваться простою логариѳмическою формулою.

Такъ напримѣръ Анго **), при помощи простой логариѳмической формулы, вычислилъ относительныя количества теплоты, получаемой горизонтальною поверхностью почвы въ различные мѣсяцы года, въ различныхъ широтахъ и при различной прозрачности атмосферы.

---

*) «Jeder, der in Zukunft über Absorption der Sonnenstrahlen in der Atmosphäre arbeitet, wird von jetzt an die, physikalisch genommen, geradezu barbarische Auffassung eines Transmissions coefficienten p für alle strahlen aus seinen Erwägungen verbannen müssen». Zeitschr. f. Meteorol. 1886, p. 207.

**) Annales du Bureau central météorologiques de France 1883, p. 120. Journ. de Phys. 5, p. 1, 1886.

Нѣкоторые естествоиспытатели, находя простую логариѳмическую формулу недостаточною, пользуются двучленнымъ или трехчленнымъ выраженiемъ, раздѣляя такимъ образомъ лучистую энергiю соотвѣтственно на двѣ или три группы лучей *).

Такъ Ангстремъ, приписывая важное значенiе поглощенiю лучей углекислотою, пользовался двучленнымъ выраженiемъ.

Наблюденныя Ангстремомъ напряженiя солнечной радiацiи и вычисленныя по означенной формулѣ весьма мало между собою различаются.

Въ такомъ же согласiи съ вычисленными по формулѣ Ангстрема находятся актинометрическiя наблюденiя, произведенныя мною въ окрестностяхъ г. Одессы въ 1890, 1891 и 1894 годахъ, какъ это показано будетъ въ слѣдующемъ отдѣлѣ настоящей работы.

---

*) Анго говоритъ: «il nous semble cependant qu'il sera indispensable désormais de tenir compte des critiques de M. Langley dans les recherches actinométriques, et de diviser la radiation solaire au moins en trois ou quatre groupes, dont on étudiera séparement l'absorption».

ОГЛАВЛЕНІЕ.

Стр.

Введеніе 1

I. Методы измѣренія химической энергіи солнечныхъ лучей.

Глава I. Изслѣдованія Бунзена и Роско 11
Глава II. Изслѣдованія Маршана 24
Глава III. Примѣненіе электрическаго тока къ фотохимическимъ измѣреніямъ 30
Глава IV. Общее заключеніе 40

II. Методы измѣренія тепловой энергіи солнечныхъ лучей.

Глава V. Законы охлажденія тѣлъ 45
Глава VI. Первыя попытки къ измѣренію солнечной радіаціи .. 70
Глава VII. Абсолютный пиргеліометръ Пулье 77
Глава VIII. Абсолютный актинометръ Віолля 97
Глава IX. Методъ Ангстрема 116
Глава X. Методъ профессора Хвольсона 124
Глава XI. Другіе методы абсолютнаго измѣренія солнечной радіаціи 136
Глава XII. Приборы для актинометрическихъ наблюденій вообще. 139
Глава XIII. Термоэлектрическіе приборы для измѣренія солнечной радіаціи 173
Глава XIV. Методъ Лангле 184
Глава XV. Регистрирующіе актинометры 189
Глава XVI. Общее заключеніе 198

III. Вліяніе земной атмосферы на солнечное лучеиспусканіе.

Глава XVII. Газообразная оболочка земного шара 205
Глава XVIII. Поглощательная способность составныхъ частей атмосферы 210
Глава XIX. Поглощеніе солнечной радіаціи земною атмосферою .. 218
Глава XX. Радіація небеснаго свода 245
Глава XXI. Общее заключеніе .... 248.

ЗАПИСКИ

МАТЕМАТИЧЕСКАГО ОТДѢЛЕНІЯ

Новороссійскаго Общества Естествоиспытателей.

ТОМЪ XVIII.

ОДЕССА.
Тип. А. Шульце, Ланжероновская ул., д. Карузо № 36.
1897.



Печатано по опредѣленію Совѣта Новороссійскаго Общества Естествоиспытателей. Секретарь Общества *П. Бучинскій*.

MÉMOIRES

de la section mathématique

de la société des naturalistes de la Nouvelle-Russie

(Odessa).

T. XVIII.

СОДЕРЖАНІЕ.

TABLE DES MATIÈRES.

Стр.
М. Панченко. Солнечное лучеиспусканіе................ 1
M. Pantchenko. La radiation solaire.

I. Измѣренія химической энергіи солнечныхъ лучей.

ГЛАВА I.

Наблюденія Бунзена и Роско.

§ 1. *Химическое дѣйствіе разсѣяннаго свѣта небеснаго свода.* Первыя измѣренія Бунзена и Роско *) относятся къ опредѣленію химическаго дѣйствія разсѣяннаго свѣта на смѣсь хлора и водорода. Такъ какъ изъ опасенія взрыва невозможно было подвергать реактивъ дѣйствію свѣта всего небеснаго свода, то Бунзенъ и Роско непосредственно опредѣляли химическое дѣйствіе только тѣхъ лучей, которые посылались черезъ вертикальную трубу зенитомъ. Послѣ этого они сравнивали оптическое напряженіе свѣта въ зенитѣ съ напряженіемъ всего небеснаго свода, допуская, что оптическое напряженіе лучей одного и того же источника пропорціонально ихъ химическому дѣйствію **). Для этого они пользовались колоколомъ, пропускавшимъ на горизонтальную поверхность извѣстную часть свѣта небеснаго свода, помощью множества небольшихъ отверстій. Вертикальная труба, воспринимавшая лучи отъ зенита, имѣла отверстіе, соотвѣтствующее 0.007 видимаго небеснаго свода. Отверстіе трубы

---

*) Poggendorff's Ann. für Phys. und Chem. Bd. 100, p. 216. Bd. 108, p. 206.

**) Бунзенъ и Роско нашли этотъ законъ изъ сравненія химическихъ и оптическихъ напряженій свѣта искусственныхъ источниковъ По поздвѣйшія изслѣдованія Роско, какъ мы увидимъ ниже, показали, что этотъ законъ не примѣнимъ къ дневному свѣту.

уменьшалось до тѣхъ поръ, пока проникающій черезъ трубу свѣтъ не давалъ такое же освѣщеніе, какъ и разсѣянный свѣтъ, проходящій черезъ малыя отверстія. Такъ какъ было извѣстно, что черезъ эти отверстія колокола проходила $\frac{1}{435}$ часть свѣта всего видимаго небеснаго свода, то искомое отношеніе опредѣлялось очень просто. Пусть, напримѣръ, свѣтъ, проникающій черезъ всѣ отверстія колокола, давалъ такое же освѣщеніе, какъ и лучи, проходящіе черезъ четвертую часть отверстія вертикальной трубы; тогда весь дневной свѣтъ въ $\frac{435}{4}=109$ разъ больше освѣщенія, посылаемаго зенитомъ черезъ все отверстіе трубы.

Бунзенъ и Роско воспользовались яснымъ, совершенно безоблачнымъ днемъ 6-го іюня 1858 года, когда произведены были сравнительныя наблюденія на холмѣ Gaisberg, вблизи Гейдельберга. Въ этотъ день воздухъ былъ настолько чистъ и прозраченъ, что главный рельефъ горы Hardt, отстоящей отъ мѣста наблюденія на 30 киллометровъ, можно было различать невооруженнымъ глазомъ. Наблюденія производились съ 5 часовъ утра до 6 часовъ вечера, такъ что можно было опредѣлить для каждаго часа отношеніе между оптическимъ напряженіемъ свѣта, посылаемаго зенитомъ, и освѣщеніемъ всего небеснаго свода.

Кромѣ этого дня наблюденія производились также 18 октября 1856 года, 23 іюля и 5 августа 1858.

Наблюденія эти показали, что количество свѣта, получаемаго отъ всего небеснаго свода элементомъ поверхности, можетъ быть выражено слѣдующею эмпирическою формулою:

$$L=77.0+9.275z,$$

гдѣ z означаетъ зенитное разстояніе солнца, при чемъ за единицу принято освѣщеніе, посылаемое въ тоже время поверхностью, расположенною въ зенитѣ и составляющею 0.001 всего небеснаго свода.

Измѣренное же фотометромъ химическое напряженіе 0.001 доли небеснаго свода, расположенной въ зенитѣ, выражается также съ достаточною точностью въ свѣтовыхъ (фотохимическихъ) единицахъ формулою:

$$h=1182.7-13.85z+\frac{8884.9}{z}.$$

Опредѣляя произведеніями $L\times h$ химическое дѣйствіе всего небеснаго свода на горизонтальный элементъ поверхности, Бунзенъ и Роско нашли, что оно можетъ быть выражено въ свѣтовыхъ градусахъ слѣдующею эмпирическою формулою:

$$H=2.776+80.849\cos z-45.996\cos^2 z \;\ldots.\; (1).$$

Для опредѣленія z, зенитнаго разстоянія солнца во время наблюденія, служила извѣстная формула:

$$\cos z=\cos\delta\cos t\cos p+\sin\delta\sin p \;\ldots\ldots\ldots\; (2),$$

гдѣ δ—склоненіе солнца въ день наблюденія, p—высота полюса въ мѣстѣ наблюденія, t—часовой уголъ солнца. Но для зенитныхъ разстояній, меньшихъ 27°, формула (1) даетъ неточные результаты, поэтому Радо *) замѣняетъ ее слѣдующею:

$$H=39.7-144\,\mathrm{Sin}^4\tfrac{1}{2}z=39.7-36\;(1-\cos z)^2,$$

которая даетъ:

$H=39.7$ для $z=0°$ и $H=3.7$ для $z=90°$.

Формула (1) выражаетъ химическое дѣйствіе разсѣяннаго свѣта небеснаго свода на элементъ горизонтальной поверхности въ продолженіе одной минуты и при часовомъ углѣ солнца t. Чтобы опредѣлить фотохимическое дѣйствіе разсѣяннаго свѣта при увеличеніи часового угла отъ t^0 до t^0_1, нужно взять интегралъ:

$$H_1=\frac{12\times 60}{\pi}\int_t^{t_1} H\,dt \;\ldots\ldots\ldots\; (3).$$

Для опредѣленія H_1 нужно въ интегралъ вставить значеніе H изъ ур. (1); но при этомъ интегрированіе усложняется.

*) Radau: «Les radiations chimiques du soleil» Paris. 1877. p. 42.

Гораздо проще опредѣляется фотохимическое дѣйствіе разсѣяннаго свѣта въ дни равноденствія, въ теченіе всего промежутка времени отъ восхода до заката солнца, формулою:

$$H_1{}^1 = 1998.7 + 37058 \cos p - 16559 \cos^2 p \ldots (4),$$

гдѣ p, какъ и прежде, означаетъ высоту полюса надъ горизонтомъ.

По послѣдней формулѣ опредѣлено было фотохимическое дѣйствіе всего небеснаго свода на элементъ горизонтальной поверхности, въ свѣтовыхъ градусахъ, отъ восхода до заката солнца, для слѣдующихъ пунктовъ.

Мѣста.	Химическое дѣйствіе.
Каиро	21670
Неаполь	20550
Гейдельбергъ	19100
Манчестеръ	18220
Петербургъ	16410
Рейкіавикъ	15020
Островъ Мельвилль	10590

Само собою разумѣется, что выводы эти отнесены къ уровню океана и къ атмосферѣ, совершенно свободной отъ облаковъ и тумановъ.

Лишь только небо начинаетъ покрываться облаками, а также при наступленіи тумана, химическое дѣйствіе разсѣяннаго свѣта становится весьма неправильнымъ. Бунзенъ и Роско произвели рядъ наблюденій въ Гейдельбергѣ при измѣнчивой погодѣ 5-го октября 1856 года.

Полученные результаты привели ихъ къ заключенію, что тонкія облака, застилающія небо въ видѣ нѣжнаго бѣлаго покрова, могутъ учетверить химическое дѣйствіе разсѣяннаго свѣта атмосферы. Другія же наблюденія ихъ показали, что густые туманы и грозовыя облака настолько ослабляютъ химическое дѣйствіе небеснаго свода, что оно даже не можетъ быть обнаружено при помощи фотометра.

§ 2. *Химическое дѣйствіе непосредственныхъ солнечныхъ лучей.* Для измѣренія химическаго дѣйствія лучей, непосредственно посылаемыхъ солнечнымъ дискомъ, Бунзенъ и Роско, при помощи геліостата Зильбермана, проводили солнечные лучи черезъ очень малое отверстіе, сдѣланное въ мѣдной пластинкѣ; полученное при этомъ изображеніе солнца такъ падало на инсоляціонный сосудъ, что вся находящаяся въ немъ смѣсь газовъ равномѣрно освѣщалась. Зная поперечникъ отверстія пластинки, микрометрически измѣренный, а также разстояніе его отъ инсоляціоннаго сосуда, можно опредѣлить фотохимическое дѣйствіе всего солнечнаго диска. При этомъ Бунзенъ и Роско принимали также во вниманіе потерю свѣта, вслѣдствіе отраженія отъ стѣнокъ сосуда и зеркала геліостата.

Наблюденія произведены были въ безоблачные дни: 3-го августа 1857 года, 14 и 15 сентября 1858 года.

Результаты этихъ наблюденій оказалось возможнымъ выразить формулою $J=Ap^{séc\,z}$, при чемъ Бунзеномъ и Роско найдено было:

$A=318^{0}.3$, $p=0.435$ для барометрич. давленія въ 760 мм.

Такъ какъ, по опредѣленію Бунзена и Роско *), одному фотохимическому градусу соотвѣтствуетъ въ одну минуту слой хлористо-водородной кислоты, толщиною въ 0.111 м., то значитъ, первоначальная энергія солнечныхъ лучей, на границѣ нашей атмосферы, можетъ быть выражена произведеніемъ:

$$318.3\times0.111 \text{ м.}=35.3 \text{ м.}$$

Такимъ образомъ, если бы солнечные лучи, нормально падающіе на земную поверхность, на пути своемъ встрѣчали только атмосферу хлора и водорода, то они производили бы въ одну минуту слой хлористо-водородной кислоты, толщиною въ 35.3 метра **).

---

*) См. стр. 18, часть I.

**) У поверхности Меркурія химическая энергія солнечныхъ лучей эквивалентна слою хлористо-водородной кислоты въ 235 м., Марса—15 м., Юпитера—1. 2 м. и Нептуна 0.04 м. въ минуту.

Бунзенъ и Роско, при помощи формулы Бугера, вычислили химическую энергію солнечныхъ лучей на различныхъ высотахъ, соотвѣтствующихъ барометрическимъ давленіямъ 800 мм.—50 мм., при измѣненіи зенитнаго разстоянія солнца отъ 0° до 90°.

Таблица эта показываетъ, что, при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ, съ увеличеніемъ зенитнаго разстоянія солнца, напряженіе лучей убываетъ гораздо быстрѣе вблизи уровня океана, нежели на вершинахъ горъ.

Такъ на Тибетскомъ плоскогоріи *), когда солнце вблизи зенита, химическое напряженіе лучей въ полтора раза больше, нежели въ низменностяхъ Индіи; когда же высота солнца уменьшится до 45°, напряженіе лучей на плоскогоріи уже въ два раза больше, нежели въ низменностяхъ; наконецъ, когда высота солнца не превышаетъ 10° надъ горизонтомъ, фотохимическое дѣйствіе лучей на вершинахъ Гималайскихъ горъ въ 23 раза больше, нежели въ долинахъ.

Но еще гораздо большее различіе въ дневномъ ходѣ фотохимическаго дѣйствія солнечныхъ лучей обусловливается географическою широтою мѣста

Если сопоставить химическое дѣйствіе солнечныхъ лучей и разсѣяннаго свѣта небеснаго свода для однихъ и тѣхъ же мѣстъ, то можно прійти къ слѣдующимъ выводамъ.

Во время равноденствія отъ полюса до широты Петербурга въ продолженіе цѣлаго дня химическое дѣйствіе разсѣяннаго свѣта небеснаго свода больше, чѣмъ дѣйствіе лучей, непосредственно посылаемыхъ солнцемъ на земную поверхность; въ остальныхъ же широтахъ это явленіе замѣчается только въ отдѣльные часы.

Далѣе оказывается, что для всѣхъ мѣстъ, гдѣ солнце бываетъ выше 20°50′ надъ горизонтомъ, отъ восхода до нѣкоторой высоты солнца химическое дѣйствіе разсѣяннаго

*) Radau: Les radiations chimique du soleil, p. 46.

свѣта больше напряженія солнечныхъ лучей; при дальнѣйшемъ же поднятіи солнце достигаетъ такой высоты, при которой оба дѣйствія уравновѣшиваются, и съ этого момента химическое напряженіе солнечныхъ лучей беретъ перевѣсъ.

Этотъ моментъ, когда оба фотохимическія дѣйствія становятся равными («фаза равныхъ химическихъ освѣщеній») можетъ быть опредѣленъ теоретически. Для этого въ ур. (1) нужно положить $H = 318.3 \times 0.435^{\sec z}$ и опредѣлить z изъ уравненія:

$$318.3 \times 0.435^{\sec z} = 2.776 + 80.849 \cos z - 45.996 \cos^2 z.$$

Бунзенъ и Роско произвели рядъ наблюденій 21, 22 февраля и 7, 11 марта 1859 года, съ цѣлью опредѣлить экспериментальнымъ путемъ фазы равныхъ химическихъ освѣщеній.

Воспользовавшись фотографическою бумагою, которая подвергалась одновременно дѣйствію солнечныхъ лучей и разсѣяннаго свѣта, они опредѣляли тотъ моментъ, когда оттѣнки, обусловленные обоими источниками свѣта, становились одинаковыми. Результаты этихъ наблюденій довольно согласны съ теоретическими выводами,

Что же касается всей фотохимической энергіи, какъ посылаемой непосредственно солнечнымъ дискомъ, такъ и небеснымъ сводомъ, то она сравнительно мало измѣняется съ географическою широтою мѣста. Такъ, напримѣръ, въ Каирѣ все фотохимическое дѣйствіе въ пять разъ, а въ Гейдельбергѣ въ два раза больше, нежели на островѣ Мельвиллѣ, который только на 15^0 отстоитъ отъ полюса. Поэтому Бунзенъ и Роско полагаютъ, что наша атмосфера играетъ роль регулятора въ фотохимическихъ явленіяхъ, происходящихъ на земной поверхности.

§ 3. *Химическое дѣйствіе отдѣльныхъ частей солнечнаго спектра.* Бунзенъ и Роско *) изслѣдовали также химическое дѣйствіе отдѣльныхъ частей солнечнаго спектра.

---

*) Poggend. Ann. Bd. 108, p. 267.

Такъ какъ стекло въ значительной степени поглощаетъ химически дѣйствующіе лучи, то Бунзенъ и Роско при этихъ изслѣдованіяхъ пользовались кварцевыми призмами и линзами.

Выбравъ совершенно безоблачный день, Бунзенъ и Роско при помощи металлическаго зеркала пропустили солнечный лучъ черезъ узкую щель спектроскопа; полученный спектръ былъ направленъ на бѣлую ширму, пропитанную растворомъ сѣрнокислаго хинина, чтобы сдѣлать ультра-фіолетовую часть спектра видимою.

Ширма эта имѣла щель, черезъ которую могла проходить только небольшая часть спектра къ инсоляціонному сосуду, находящемуся на разстояніи 1—2 метровъ отъ щели.

Кромѣ того на ширмѣ, для оріентированія частей спектра, нанесены были дѣленія въ миллиметрахъ. Съ этою цѣлью Бунзенъ и Роско раздѣлили все протяженіе спектра отъ A до самой крайней наблюдаемой Стоксомъ черты W на 160 частей.

Наблюденія, произведенныя Бунзеномъ и Роско въ Гейдельбергѣ 14 августа 1857 года при совершенно ясномъ, безоблачномъ небѣ, дали слѣдующіе результаты.

Въ красной и желтой частяхъ спектра химическое дѣйствіе весьма слабо; въ голубомъ цвѣтѣ оно быстро возрастаетъ и достигаетъ перваго максимума между G и H; далѣе начинаетъ убывать до минимума около H; потомъ достигаетъ второго максимума при J и затѣмъ быстро падаетъ, такъ что становится почти незамѣтнымъ между T и W.

Но Бунзенъ и Роско нашли, что положеніе этихъ максимумовъ и минимумовъ вообще измѣняется съ толщиною атмосфернаго слоя, такъ что лучи различныхъ химическихъ оттѣнковъ въ различной степени ослабляются при прохожденіи черезъ атмосферу.

Выводы Бунзена и Роско подтверждаются фотографическими спектральными изслѣдованіями Фогеля *) на Адріатическомъ, Крас-

---

*) Poggend. Ann. Bd. 156, p. 319.

номъ и Индійскомъ моряхъ. Такъ Фогель говоритъ, что около 7 часовъ утра обыкновенно наибольшее химическое дѣйствіе обнаруживали синіе и голубые лучи, преимущественно около линіи G; по направленію къ F и H напряженіе лучей быстро уменьшалось.

Дѣйствіе же ультра-фіолетовыхъ лучей въ такой ранній часъ почти не обнаруживалось, а только обыкновенно къ полудню.

ГЛАВА II.

Наблюденія Роско.

§ 4. *Химическое дѣйствіе разсѣяннаго дневного свѣта.* Для постоянныхъ метеорологическихъ наблюденій приборъ съ хлоромъ и водородомъ оказался весьма неудобнымъ, а потому Роско обратился къ методу фотографическому.

Такъ въ 1863 и 1864 годахъ произведены были наблюденія съ цѣлью опредѣлить среднее химическое напряженіе дневного свѣта въ Манчестерѣ *).

Эти наблюденія показали, что среднія химическія напряженія подвержены весьма сильнымъ колебаніямъ.

Такъ 20 іюня среднее напряженіе дневного свѣта не составляло и половины напряженія 22 іюня, а именно отношеніе ихъ равно 1:2,34. Причина этого явленія зависитъ отъ облачности, которая оказываетъ огромное вліяніе на химическое напряженіе дневного свѣта. Благодаря облачности, напряженіе дневного свѣта въ 12 часовъ 15 минутъ 20 іюня составляло почти четвертую часть напряженія 22 іюня въ тотъ же часъ, но при отсутствіи облаковъ. Такія значительныя и внезапныя колебанія въ химическомъ дѣйствіи наблюдаются иногда, повидимому, при совершенно безоблачномъ небѣ. Такъ, напримѣръ,

---

*) Poggend. Ann. Bd. 124, p. 353.

26 сентября 1864 года въ Манчестерѣ въ продолженіе цѣлаго дня небо оставалось чистымъ, а между тѣмъ въ 9 часовъ 25 м. химическое напряженіе было 0.13; около 10 часовъ оно понизилось до 0.07 и только къ 11 часамъ поднялось до 0.11. Роско полагаетъ, что причину этого явленія слѣдуетъ искать въ суспензированныхъ въ воздухѣ водяныхъ частицахъ или въ невидимомъ туманѣ. Такое объясненіе тѣмъ болѣе правдоподобно, что онъ нерѣдко замѣчалъ, какъ весьма легкій, едва замѣтный для глаза туманъ часто оказываетъ сильное поглощательное дѣйствіе на химическіе лучи.

Мнѣніе Роско подтверждается фотографическими спектральными наблюденіями Фогеля, о которыхъ мы уже упоминали*). Измѣряя химическое напряженіе дневного свѣта на Адріатическомъ морѣ 23 февраля 1875 года, при высотѣ солнца 40°.56, въ совершенно ясный день, и 1-го марта на Индійскомъ морѣ, при высотѣ солнца 49°.78, когда тонкій покровъ едва измѣнялъ голубой цвѣтъ неба, Фогель получилъ одинаковые результаты, не смотря на значительную разницу въ солнечной высотѣ.

Химическое дѣйствіе дневного свѣта въ Манчестерѣ въ дни солнцестояній и равноденствій Роско представилъ кривыми, выражающими результаты часовыхъ наблюденій 28 сентября и 22 декабря 1863 года, а также 19 марта и 22 іюня 1864 года. Въ самый короткій день среднее химическое напряженіе было равно 4.7, а въ самый длинный 119; въ день весенняго равноденствія 36.8, а въ день осенняго 29.1. Увеличеніе химическаго напряженія отъ декабря къ марту меньше, нежели отъ марта къ іюню. Причина этого явленія, по недостатку данныхъ, не могла быть выяснена.

Какъ примѣръ одновременныхъ наблюденій химическаго напряженія дневного свѣта въ различныхъ пунктахъ, Роско приводитъ наблюденія, произведенныя имъ въ Гейдельбергѣ (49°24′

*) Poggend. Ann. Bd. 156, p. 319.

с. ш.) 4-го іюля 1864 года и въ Дингваллѣ, въ Шотландіи, (57°35′ с. ш.) 27 сентября, въ сравненіи съ данными, которыя были получены для тѣхъ же дней его ассистентомъ въ Манчестерѣ (53°20′ с. ш.).

Приведенные результаты показываютъ, что химическое дѣйствіе свѣта въ Манчестерѣ значительно меньше того, какое можно было бы ожидать, принимая во вниманіе широту мѣста. Явленіе это легко объясняется поглощающимъ дѣйствіемъ дыма отъ каменнаго угля, застилающаго весь Ланкаширъ.

§ 5. *Сравненіе химическихъ напряженій солнечныхъ лучей и разсѣяннаго свѣта атмосферы.* Послѣ того, какъ Роско значительно упростилъ методъ наблюденія, явилась возможность сравнить химическое напряженіе лучей, непосредственно посылаемыхъ на горизонтальную поверхность солнечнымъ дискомъ, съ такимъ же дѣйствіемъ разсѣяннаго дневного свѣта.

Съ этою цѣлью Роско *) подвергалъ нормальную фотографическую бумагу попеременно дѣйствію то всего дневного свѣта, то одного только разсѣяннаго свѣта неба. Въ послѣднемъ случаѣ солнечные лучи задерживались небольшою круглою ширмою, нѣсколько большаго поперечника, чѣмъ видимый діаметръ солнца.

Разность полученныхъ результатовъ давала химическое дѣйствіе однихъ только солнечныхъ лучей.

Такія наблюденія произведены были въ 1866 году въ слѣдующихъ пунктахъ:

1. Въ Owens College, въ Манчестерѣ, Роско.

2. Въ обсерваторіи Cheetham-Hill, вблизи Манчестера, Baxendell'емъ.

3. На вершинѣ Kõnigsstuhl, вблизи Гейдельберга, Волковымъ, на высотѣ 554 метровъ.

На основаніи полученныхъ данныхъ вычислены были отношенія между химическими напряженіями солнечныхъ лучей и

---

*) Poggend. Ann. Bd. 128, p. 291.

разсѣяннаго свѣта небеснаго свода. Во всѣхъ означенныхъ пунктахъ химическое дѣйствіе разсѣяннаго свѣта неба превышаетъ дѣйствіе лучей, непосредственно идущихъ отъ солнца.

Относительныя напряженія солнечныхъ лучей въ Гейдельбергѣ значительнѣе, нежели въ другихъ указанныхъ пунктахъ, и болѣе соотвѣтствуютъ теоретическимъ выводамъ Клаузіуса. Объясняется это прежде всего тѣмъ, что наблюденія въ Гейдельбергѣ производились на высотѣ 554 метровъ надъ уровнемъ моря.

Наблюденія въ Гейдельбергѣ показали, что при низкомъ стояніи солнца химическое напряженіе солнечныхъ лучей бываетъ крайне ничтожно, но въ тоже время дѣйствіе разсѣяннаго свѣта довольно значительно.

Въ первыхъ двухъ пунктахъ найдено было, что при высотѣ солнца въ 25°16′ среднее отношеніе химическихъ напряженій солнечныхъ лучей и разсѣяннаго дневного свѣта 0.23, а оптическихъ напряженій лучей 4.00. Также при высотѣ солнца въ 12°3′ среднее отношеніе химическихъ напряженій было равно 0.053, а оптическихъ 1.400. Такимъ образомъ дѣйствіе атмосферы на химическое напряженіе въ первомъ случаѣ было въ 17.4 раза, а во второмъ въ 26.4 раза больше, чѣмъ вліяніе ея на оптическое напряженіе лучей.

Такимъ образомъ изъ наблюденій Роско можно прійти къ слѣдующимъ выводамъ:

1. Отношеніе химическихъ напряженій солнечныхъ лучей и разсѣяннаго свѣта небеснаго свода въ различныхъ мѣстахъ, для одной и той же высоты солнца, не одинаково, но измѣняется съ прозрачностью атмосферы.

2. Это отношеніе химическихъ напряженій нисколько не соотвѣтствуетъ отношенію оптическихъ напряженій, такъ какъ при высотѣ солнца въ 25°16′ атмосфера оказывала на химическіе лучи въ 17.4 раза большее дѣйствіе, а когда солнце

было на высотѣ 12°3′, то въ 26.4 раза большее дѣйствіе, чѣмъ на оптическіе.

По иниціативѣ Роско съ 1 апрѣля 1865 года по 1 апрѣля 1867 года производились фотохимическія измѣренія дневного свѣта Бакеромъ въ обсерваторіи Кью *). Такія же наблюденія произведены были въ 1866 году Тһогре въ Сѣверной Бразиліи, въ Пара (1°28′ южн. ш. и 48°30′ з. д.).

Такъ какъ въ Кью наблюдали только по три раза на день, то эти результаты не могутъ выражать часовыхъ измѣненій; но за то они съ большою точностью показываютъ годовой ходъ фотохимическаго напряженія, а также среднія мѣсячныя.

Кромѣ того для тѣхъ дней, когда въ Кью производилось достаточное число наблюденій, найдены были среднія химическія напряженія. Полученные результаты показали, что среднія химическія напряженія дневного свѣта для равныхъ солнечныхъ высотъ одинаковы.

Зависимость между химическимъ напряженіемъ дневного свѣта и высотою солнца Роско выразилъ формулою:

$$J_a = J_0 + ak,$$

гдѣ J_a химическое напряженіе при высотѣ солнца a, J_0—напряженіе, когда солнце на горизонтѣ; постоянное k должно быть опредѣлено изъ наблюденій.

Такимъ образомъ, по выводамъ Роско, химическое напряженіе дневного свѣта можно разсматривать, какъ линейную функцію солнечной высоты, если только не принимать во вниманіе наблюденій при низкомъ стояніи солнца. Въ послѣднемъ случаѣ получаются неточные результаты, вслѣдствіе вліянія наиболѣе плотныхъ слоевъ атмосферы.

Трудность встрѣтить въ Англіи достаточное число безоблачныхъ дней, слѣдующихъ одинъ за другимъ, побудила Роско, вмѣстѣ съ Тһогре, предпринять рядъ измѣреній на западномъ

*) Poggend. Ann. Bd. 132, p. 404.

берегу Португаліи, гдѣ обыкновенно въ іюлѣ и въ августѣ бываютъ ясные дни; при этомъ имѣлась цѣль найти по возможности точную зависимость между высотою солнца и химическимъ напряженіемъ всего дневного свѣта. Наблюденія произведены были осенью 1867 года въ Quintado, Estero, Furado (38°40′ с. ш. и 9° в. д.) и при томъ такъ часто, сколько можно было сдѣлать въ продолженіе каждаго часа *). Чувствительной бумагѣ, выставленной на свѣтъ, придавалось совершенно горизонтальное положеніе, а весь приборъ находился на высотѣ 1 метра надъ песчаною почвою. Для опредѣленія химическаго дѣйствія одного только разсѣяннаго дневного свѣта на пути солнечныхъ лучей ставился вычерненный мѣдный шарикъ въ такомъ разстояніи отъ чувствительной бумаги, чтобы видимый діаметръ его былъ нѣсколько болѣе, нежели видимый діаметръ солнечнаго диска. Длинный рядъ наблюденій показалъ, что такое разстояніе шарика должно колебаться между 140 и 190 мм.

Высота солнца опредѣлялась непосредственно до и послѣ наблюденій, при помощи секстанта съ искусственнымъ горизонтомъ изъ чернаго стекла. Въ тѣхъ же случаяхъ, когда эти непосредственныя опредѣленія высоты были не надежны, примѣнялась извѣстная формула:

$$\cos z = \cos\delta \cos t \cos p + \sin\delta \sin p.$$

Всѣ метеорологическіе элементы, какъ-то: скорость и направленіе вѣтра, показанія сухого и смоченнаго термометровъ и барометрическое давленіе отмѣчались весьма тщательно.

Наблюденія Роско и Торпе въ Португаліи приводятъ къ слѣдующимъ выводамъ.

1. Кривыя, представляющія дневной ходъ химическихъ напряженій солнечныхъ лучей и разсѣяннаго свѣта пересѣкаются при высотѣ солнца въ 50°.

---

*) Poggend. Ann. Ergänzungsb, V. p. 177.
Phil. Trans. 1870, p. 309.

2. Когда солнце ниже 10° надъ горизонтомъ, химическое дѣйствіе обусловливается только разсѣяннымъ свѣтомъ; по мѣрѣ же поднятія солнца надъ горизонтомъ, возрастаетъ напряженіе какъ солнечныхъ лучей, такъ и разсѣяннаго свѣта, но первое пораздо быстрѣе, такъ что при высотѣ солнца въ 50° оба напряженія уравновѣшиваются.

3. Полное напряженіе дневного свѣта, какъ показываетъ кривая, выражается линейною функціею солнечной высоты, въ предѣлахъ 10° и 60°.

Такая же простая зависимость между высотою солнца и химическимъ напряженіемъ всего дневного свѣта, какъ мы видѣли, найдена была для Гейдельберга, Кью и Пара, хотя по величинѣ эти напряженія, при одинаковыхъ солнечныхъ высотахъ, весьма различаются, съ измѣненіемъ времени года и мѣста наблюденія. Такъ, напримѣръ, при высотѣ солнца въ 30° напряженіе въ Лиссабонѣ 0.15, а въ Пара 0.44; когда же солнце достигло высоты 60°, напряженіе было въ Лиссабонѣ 0.32, а въ Пара 0.80.

Эти измѣненія въ направленіи прямыхъ, характеризующіяся постоянною величиною данной формулы, Роско приписываетъ *опалесценціи* атмосферы, вслѣдствіе которой химическое напряженіе свѣта, при одной и той же солнечной высотѣ, тѣмъ больше, чѣмъ выше средняя температура. Поэтому химическое напряженіе вообще больше лѣтомъ, нежели зимою, а также больше подъ тропиками, нежели въ мѣстахъ, болѣе удаленныхъ отъ экватора.

Фотохимическія измѣрепія, сдѣланныя въ Лиссабонѣ, показываютъ удивительное согласіе съ наблюденіями, сдѣланными Бунзеномъ и Роско помощью фотометра съ хлористымъ водородомъ.

Такое согласіе результатовъ, найденныхъ совершенно различными методами, подтверждается еще совпаденіемъ фазъ,

при которыхъ химическія напряженія солнечныхъ лучей и разсѣяннаго свѣта уравновѣшиваются.

ГЛАВА III.

Наблюденія Штеллинга.

§ 6. *Методъ наблюденій.* Наиболѣе длинный рядъ фотохимическихъ измѣреній по методу Роско произвелъ въ Петербургѣ г. Штеллингъ.

Ежедневныя наблюденія въ 1 часъ средняго мѣстнаго времени начались при Главной Физической Обсерваторіи съ 1-го января 1874 года; но при разработкѣ матеріала г. Штеллингъ*) принялъ во вниманіе результаты наблюденій только съ 1-го ноября 1874 года по 31 іюля 1875 года, когда онъ лично приготовлялъ чувствительную бумагу, со строгимъ выполненіемъ всѣхъ предосторожностей.

Насколько важно, чтобы приготовленіе чувствительной бумаги постоянно производилось однимъ и тѣмъ же лицомъ, свидѣтельствуетъ слѣдующій поучительный примѣръ.

«Въ первые дни мая», говоритъ г. Штеллингъ**), «обнаружились правильныя, довольно значительныя колебанія химическаго напряженія всего дневного свѣта, которыя не были въ согласіи съ измѣненіями оптическаго напряженія, испытываемаго глазомъ, а часто даже противорѣчили имъ, какъ можно видѣть изъ слѣдующей таблицы:

---

*) Repertorium für Meteorologie. Bd. VI, № 6.

**) Ed. Stelling. «Photochemische Beobachtungen der intensität des gesammten Tageslichts in Petersburg». Zeitschrift der Österr. Gesellschaft für Meteorologie. Bd. XIV, p. 43.

Май.	Набл. напр.	Облачн.	Форм. обл.	Примѣчанія.
1	0.15	8	cu–str.	ясно
2	0.26	10	cu	пасмурно
3	0.10	9	cu–str.	—
4	0.37	8	cu, n.	—
5	0.11	4	cu	ясно
6	0.19	9	cu	пасмурно
7	0.08	9	cu	—
8	0.17	9	cu	—

Числа эти показываютъ, что напряженіе то увеличивается, то уменьшается, при томъ такъ, что въ дни нечетнаго порядка напряженіе меньше, а въ дни четнаго напряженіе всегда больше, между тѣмъ облачность и оптическая ясность или остаются одинаковыми, или же измѣняются въ противоположномъ направленіи.

Такъ какъ наблюденія всегда производились съ одинаковою тщательностью, то оставалось изслѣдовать, не надлежитъ-ли искать причины этого удивительнаго явленія въ самомъ приготовленіи чувствительной бумаги? Оказалось, что въ дни четнаго порядка чувствительная бумага приготовлялась только за часъ до наблюденія, и растворъ серебра въ эти дни не фильтровался, а въ дни нечетнаго порядка бумага приготовлялась при помощи фильтрированнаго раствора за два съ половиною часа до наблюденія.

Поэтому необходимо было опредѣлить, какое вліяніе оказываетъ на результаты наблюденій влажность бумаги, а также чистота раствора. Для этого г. Штеллингъ воспользовался ручнымъ инсоляторомъ Роско, который былъ такъ устроенъ, что одновременно подвергались инсоляціи четыре полосы чувствительной бумаги, при чемъ двѣ изъ нихъ всегда были совершенно одинаковой влажности.

Опыты эти показали, что большая или меньшая сухость чувствительной бумаги не оказываетъ замѣтнаго вліянія на ре-

зультаты наблюденій. Оставалось поэтому изслѣдовать, можетъ-ли влiять большая или меньшая чистота раствора.

Двѣ чувствительныя полоски были приготовлены за 3 часа до наблюденія, при чемъ для приготовленія одной изъ нихъ пользовались растворомъ, фильтрированнымъ за 24 часа, а для другой—только что фильтрированнымъ растворомъ. Обѣ полоски были выставлены одновременно въ инсоляторѣ, при томъ въ двухъ экземплярахъ.

Изъ этихъ изслѣдованій оказалось, что, при приготовленіи чувствительной бумаги, растворъ долженъ быть фильтрированъ непосредственно передъ употребленіемъ, такъ какъ, вслѣдствіе нечистоты раствора, выдѣлившееся уже серебро способствуетъ дальнѣйшему его выдѣленію, и результаты получаются на 10% большіе.

Для опредѣленія оттѣнковъ г. Штеллингъ также пользовался, какъ и Роско, фиксированною полосою съ нормальнымъ оттѣнкомъ. Главная Физическая Обсерваторія получила полоску съ нормальнымъ оттѣнкомъ отъ самого Роско.

При наблюденіяхъ г. Штеллинга по крайней мѣрѣ одинъ разъ въ недѣлю провѣрялось, сохранила-ли калибрированная полоса въ неизмѣнномъ видѣ свои оттѣнки. Если обнаруживалось измѣненіе, то производилось новое калибрированіе.

Относительно самого отсчета г. Штеллингъ пришелъ къ слѣдующимъ заключеніямъ. На результатъ сравненія оттѣнка съ калибрированною полосою оказываетъ большое вліяніе яркость натроваго пламени, а также направленіе падающихъ лучей. При измѣненіи яркости горѣлки, кажется, какъ будто бы испытуемый оттѣнокъ приближается къ другому оттѣнку калибрированной полосы. Измѣненія эти слабѣе проявляются при сравненіи оттѣнковъ, наиболѣе близкихъ къ нормальному. Поэтому г. Штеллингъ совѣтуетъ для окрашиванія пламени Бунзеновской горѣлки употреблять по возможности равныя крупинки хлористаго натрія и возобновлять ихъ черезъ одинаковые промежутки времени.

§ 7. *Изслѣдованіе вліянія облачности.* Въ заключеніе г. Штеллингъ изслѣдовалъ вліяніе облачности на химическое напряженіе всего дневного свѣта. При одной и той же степени облачности вліяніе это измѣняется съ толщиною и плотностью облаковъ, съ оттѣнкомъ ихъ, формою, а въ особенности вліяніе облачности обусловливается положеніемъ облаковъ относительно солнца. Но хотя степень облачности можно оцѣнить довольно точно, опредѣленіе толщины слоя облаковъ, ихъ формы и оттѣнка требуетъ особыхъ описаній, а потому г. Штеллингъ ограничился только изученіемъ вліянія степени облачности на химическое напряженіе свѣта. Ближайшая задача состояла въ томъ, чтобы опредѣлить величину нормальнаго химическаго напряженія, для совершенно яснаго и безоблачнаго дня.

Мы видѣли, что по наблюденіямъ Роско законъ измѣненія химическаго напряженія свѣта въ зависимости отъ зенитнаго разстоянія солнца можетъ быть выраженъ съ достаточною точностью прямою линіею, опредѣленнаго положенія. Но законъ этотъ имѣетъ значеніе только для опредѣленнаго мѣста и даже времени года, такъ какъ, по выводамъ Роско, направленіе прямой измѣняется отъ одного мѣсяца къ другому, или, другими словами, постоянныя уравненія измѣняются съ временами года. Для равныхъ солнечныхъ высотъ лѣтомъ вообще химическое напряженіе больше, нежели зимою, а осенью больше, нежели весною. Такое различіе въ химическомъ дѣйствіи Роско приписываетъ различной *опалесценціи* атмосферы въ различныя времена года и старается объяснить соотвѣтственными измѣненіями температуры и влажности.

Въ виду этого, при изслѣдованіи нормальнаго химическаго напряженія дневного свѣта, г. Штеллингъ не могъ воспользоваться наблюденіями, произведенными въ другихъ мѣстахъ, а долженъ былъ ограничиться только тѣми, которыя непосредственно относились къ Петербургу.

Методъ, принятый г. Штеллингомъ, состоялъ въ томъ, что сначала опредѣлено было нормальное напряженіе дневного свѣта въ Петербургѣ, по наблюденіямъ, сдѣланнымъ въ ясные дни, при совершенно чистомъ небѣ, (или же когда облака были не выше 5° надъ горизонтомъ), и съ этими результатами сравнивались наблюденія, произведенныя въ ближайшіе облачные дни, при одинаковыхъ зенитныхъ разстояніяхъ солнца. Для рѣшенія вопроса о вліяніи облачности г. Штеллингъ изслѣдовалъ:

1. Вліяніе частной облачности, когда дискъ солнца свободенъ отъ облаковъ.

2. Вліяніе частной облачности, когда дискъ солнца покрытъ облаками.

3. Вліяніе сѣрыхъ однообразныхъ облаковъ, застилающихъ весь небесный сводъ.

При этомъ получены были слѣдующіе выводы:

1. Вліяніе частной облачности измѣняется съ положеніемъ облаковъ относительно солнца; иногда при большей облачности химическое напряженіе свѣта больше, чѣмъ при меньшей облачности.

2. Если солнце покрывается облаками, то напряженіе свѣта всегда понижается, въ среднемъ на 30%, и чѣмъ солнце выше, тѣмъ ослабленіе химическаго напряженія значительнѣе.

3. Если все небо покрывается облаками, то химическое напряженіе обыкновенно понижается болѣе, чѣмъ на половину его нормальной величины; иногда же въ такихъ случаяхъ наблюдается крайнее ослабленіе химическаго дѣйствія дневного свѣта. Такъ, напримѣръ, 10-го іюня 1875 года, когда небо было весьма мрачно, наблюдаемое напряженіе не составляло и $^1/_6$ нормальной величины. Но съ другой стороны бываютъ дни, когда напряженіе дневного свѣта, не смотря на однообразное сѣрое небо, застилающее весь небесный сводъ, едва уменьшается на 30%.

Вообще же напряженіе свѣта понижается до минимума въ томъ случаѣ, когда свинцовое сѣрое небо сопровождается туманами или осадками.

4. Въ то время, какъ минимумъ химическаго напряженія падаетъ на самые пасмурные дни, максимумъ не всегда бываетъ при совершенно чистомъ небесномъ сводѣ. По наблюденіямъ г. Штеллинга, максимумъ химическаго напряженія только въ январѣ и іюнѣ бываетъ въ безоблачные дни; въ остальные же мѣсяцы максимумъ напряженія сопровождается большею или меньшею облачностью.

ГЛАВА IV.

Наблюденія Маршана.

§ 8. *Изслѣдованіе отдѣльныхъ частей солнечнаго спектра.* Маршанъ старался опредѣлить, какое дѣйствіе производятъ отдѣльныя части солнечнаго спектра на реактивъ его фотантитюпиметра. Для этого онъ наливалъ реактивную жидкость въ небольшія трубочки изъ бѣлаго стекла, длиною въ 1 дециметръ и съ внутреннимъ діаметромъ въ 6 мм. Въ каждую такую трубочку вправлена была другая, капиллярная, съ обоихъ концовъ открытая и выходящая наружу на 40 сантиметровъ.

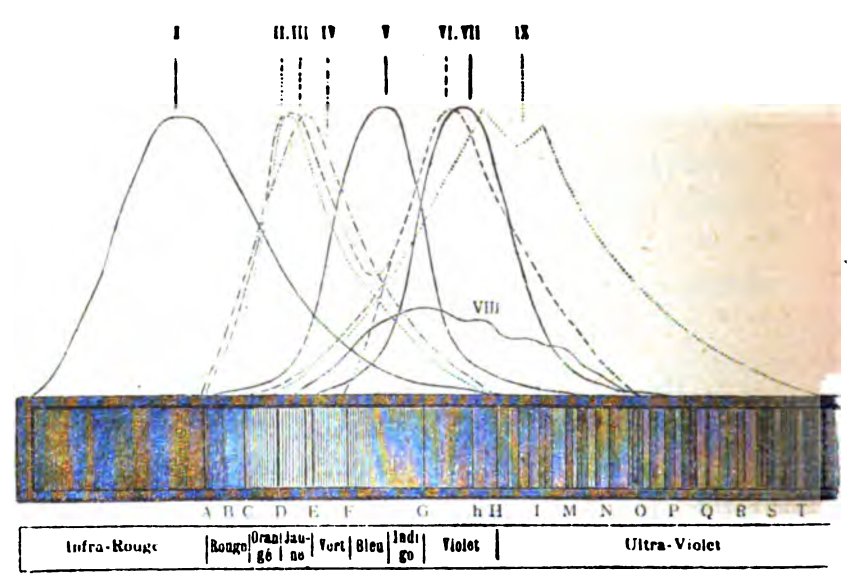
Такія трубочки съ жидкостью Маршанъ*) подвергалъ дѣйствію различныхъ частей солнечнаго спектра, полученнаго при помощи бѣлой флинтгласовой призмы.

Образующійся вслѣдствіе реакціи газъ собирался въ верхней части трубочки и поднималъ въ капиллярѣ жидкую колонну, длина которой служила мѣрою произведеннаго окрашенными лучами дѣйствія.

На основаніи этихъ наблюденій Маршанъ начертилъ кривую, представляющую распредѣленіе энергіи, дѣйствующей на смѣсь хлористаго желѣза и щавелевой кислоты, въ различныхъ

*) Eugène Marchand: «Étude sur la force chimique contenue dans la lumière du soleil.» p. 50.

частяхъ солнечнаго спектра. Эта кривая (V) показываетъ, что наибольшее химическое дѣйствіе на реактивъ Маршана производитъ голубая часть спектра, расположенная между F и G, нѣсколько ближе къ G.



Фиг. 1.

Для сравненія Маршанъ на томъ же чертежѣ даетъ кривыя, представляющія дѣйствіе солнечныхъ лучей на смѣсь хлора и водорода, по наблюденіямъ Бунзена и Роско, а также Фавра и Зильбермана. Пунктирная кривая Бунзена и Роско (IX) начинается въ красномъ цвѣтѣ, проходитъ черезъ оранжевый и желтый, поднимается по выходѣ изъ зеленаго цвѣта и даетъ два максимума: одинъ въ фіолетовой (H), а другой въ ультрафіолетовой части спектра (J). Далѣе напряженіе быстро убываетъ, затухая совершенно въ темной полосѣ T.

Кривая Фавра и Зильбермана (VII) представляетъ большое сходство съ кривою Маршана; но она ближе къ фіолетовому концу спектра.

Кромѣ того Маршанъ даетъ еще кривую (VI), представляющую дѣйствіе солнечнаго свѣта на хлористое серебро. Мак-

симумъ этой кривой, также какъ и предыдущей, находится между G и H; отсюда кривая быстро понижается и доходитъ до черты P.

Такимъ образомъ мы видимъ, что не только кривая Маршана, но даже кривыя Бунзена и Роско, Фавра и Зильбермана, обѣ представляющія дѣйствіе солнечнаго спектра на смѣсь хлора и водорода, не согласны между собою.

Эти кривыя наглядно показываютъ, какъ трудно получить точныя указанія относительно распредѣленія химической энергіи въ солнечномъ спектрѣ.

На томъ же чертежѣ можно видѣть кривую (VIII), полученную Фавромъ и Зильберманомъ, при наблюденіяхъ въ одинъ туманный вечеръ.

Эта кривая показываетъ сильное поглощеніе ультра-фіолетовыхъ лучей влажнымъ воздухомъ.

Такимъ образомъ солнечный свѣтъ подверженъ непрерывнымъ измѣненіямъ въ своемъ составѣ и въ своихъ свойствахъ, въ зависимости отъ высоты солнца надъ горизонтомъ и состоянія атмосферы. Тѣмъ не менѣе, разсматривая эти кривыя, можно прійти къ заключенію, что реакціи, совершающіяся въ приборѣ Маршана, вызываются преимущественно голубыми лучами, тогда какъ соединеніе хлора съ водородомъ происходитъ на счетъ химической энергіи лучей фіолетовыхъ и ультра-фіолетовыхъ. Вообще измѣненія молекулярнаго состоянія тѣлъ не въ одинаковой степени вызываются отдѣльными частями солнечнаго спектра, но, смотря по природѣ тѣлъ, подверженныхъ ихъ дѣйствію, а также по сродству, въ силу котораго группируются и соединяются элементы въ томъ или другомъ направленіи, дѣйствующіе лучи приближаются то къ красному, то къ фіолетовому концу видимаго спектра.

Выводы Маршана подтверждаются наблюденіями Эдмунда Беккереля, который при помощи своего электро-химическаго актинометра нашелъ, что полухлористое серебро, а также розовыя

іодированныя пластинки Дагерра, подвергнутыя предварительно дѣйствію наиболѣе преломляемыхъ частей спектра, дѣлаются чувствительными къ краснымъ, оранжевымъ и желтымъ лучамъ. Кривыя (III) и (IV) представляютъ напряженіе электрическихъ дѣйствій, вызванныхъ различно окрашенными лучами.

Кривая (III), начинающаяся у черты A, представляетъ дѣйствіе лучей на іодированную розовую пластинку, подвергавшуюся предварительному дѣйствію фіолетовыхъ лучей; эта кривая сначала быстро поднимается, потомъ въ зеленомъ цвѣтѣ падаетъ и, поднявшись снова въ голубомъ цвѣтѣ, она сливается съ кривою (VI).

Эта кривая (VI), имѣетъ двѣ вѣтви: начинающаяся у C вѣтвь представляетъ дѣйствіе на бѣлое хлористое серебро; другая же вѣтвь, идущая отъ F, выражаетъ дѣйствіе на розовыя іодированныя пластинки. Отъ G до P оба реактива испытываютъ одинаковыя дѣйствія.

Кривая (IV) выражаетъ электрическія напряженія, когда актинометръ, подверженный дѣйствію лучей, содержитъ въ себѣ пластинки съ фіолетовымъ полухлористымъ серебромъ.

§ 9. *Ежедневныя наблюденія въ Фекамѣ.* Съ 1-го декабря 1868 года Маршанъ началъ въ своемъ родномъ городѣ Фекамѣ, расположенномъ на берегу Ламанша, ежедневныя актинометрическія наблюденія, которыя онъ продолжалъ безъ перерыва по 31 декабря 1872 года.

При этихъ наблюденіяхъ Маршанъ опредѣлялъ въ кубическихъ сантиметрахъ количество углекислоты (при температурѣ нуль и барометрическомъ давленіи въ 760 мм.), выдѣляемой въ его приборѣ каждымъ квадратнымъ сантиметромъ дѣйствующей поверхности отъ восхода до заката солнца.

Результаты этихъ наблюденій представлены Маршаномъ графически четырьмя діаграммами, которыя выражаютъ:

1. Наибольшія значенія фотохимической энергіи (нормальный максимумъ), соотвѣтствующія совершенно безоблачному небу, для каждыхъ десяти дней мѣсяца.

2. Среднія значенія за каждые десять дней, найденныя по ежедневнымъ наблюденіямъ съ 31 декабря 1868 года по 31 декабря 1872 года.

3. Тѣже среднія значенія, найденныя теоретически изъ нормальныхъ максимумовъ, умноженіемъ на дроби, выражающія относительную ясность неба за тѣже періоды.

4. Среднія значенія ясности и облачности во время наблюденій.

Кривая максимумовъ, начиная съ конца декабря, сначала медленно, а потомъ съ каждымъ днемъ быстрѣе и быстрѣе поднимается до начала апрѣля; далѣе въ поднятіи этой кривой замѣчается постепенное замедленіе, и въ началѣ іюля кривая, претерпѣвъ изгибъ, начинаетъ круто понижаться до средины первой декады сентября; далѣе паденіе ея замедляется, и съ начала декабря до зимняго солнцестоянія слабое химическое напряженіе почти остается стаціонарнымъ. Съ послѣдняго момента опять замѣчается повышеніе до начала лѣта.

Кривая дневныхъ наблюденій показываетъ, какое значительное вліяніе оказываетъ на химическое напряженіе свѣта облачность.

Ясные дни весьма рѣдки на берегу Ламанша; такихъ дней въ году можно насчитать не болѣе десяти. Иногда же небо повидимому чисто, а между тѣмъ напряженіе лучей слабое, вслѣдствіе обилія водяныхъ паровъ, а также носящихся въ воздухѣ пыли или дыма. Съ другой же стороны часто бѣлыя облака (cumulus, cirrus) усиливаютъ фотохимическія реакціи.

Вслѣдствіе этого теоретически вычисленныя по степени облачности напряженія всегда болѣе или менѣе уклоняются

отъ наблюденныхъ, такъ какъ и степень облачности опредѣлить весьма трудно.

Даже такой опытный наблюдатель, какъ Маршанъ, который съ 1853 года въ теченіе двадцати лѣтъ ежедневно наблюдалъ облачность, не всегда могъ съ достаточною точностью охарактеризовать состояніе неба.

На величину среднихъ химическихъ напряженій свѣта значительное вліяніе оказываетъ также распредѣленіе облачности въ отдѣльные часы дня. Такъ, напримѣръ, если небо было поутру и вечеромъ чисто, а отъ 10 до 2 часовъ покрыто облаками, то среднее напряженіе свѣта будетъ значительно меньше, нежели въ томъ случаѣ, когда утромъ и вечеромъ облачно, а съ 10 до 2 часовъ дня небо совершенно чисто.

Что же касается химическаго дѣйствія непосредственныхъ солнечныхъ лучей, то наблюденія въ Фекамѣ показали довольно значительныя колебанія въ напряженіи химической энергіи даже для смежныхъ часовъ наблюденій. Колебанія эти, по мнѣнію Маршана, объясняются вліяніемъ трехъ различныхъ факторовъ.

1. Различіемъ высоты солнца надъ горизонтомъ во время наблюденій.

2. Весьма быстрыми, даже моментальными, измѣненіями въ состояніи прозрачности или облачности атмосферы.

Такія внезапныя измѣненія въ состояніи неба чрезвычайно затрудняютъ наблюденія. Такъ въ 1871 году, въ періодъ времени съ 13 мая по 29 августа, не было ни одного вполнѣ благопріятнаго, безоблачнаго дня. Въ теченіе 1872 года было всего два вполнѣ ясныхъ дня. Наконецъ въ продолженіе четырехъ лѣтъ наблюденій Маршанъ не могъ встрѣтить ни одного вполнѣ благопріятнаго дня въ ноябрѣ и декабрѣ. Вотъ почему эти послѣдніе мѣсяцы года отсутствуютъ въ данной имъ таблицѣ ежечасныхъ наблюденій *).

---

*) На стр. 100 Маршанъ даетъ таблицу ежечасныхъ наблюденій отъ 6 часовъ утра до 6 часовъ вечера для слѣдующихъ чиселъ: 27 ян-

3. Главнѣйшая же причина наблюдаемыхъ колебаній въ количествѣ выдѣляемаго газа заключается въ измѣненіяхъ температуры и барометрическаго давленія воздуха во время наблюденій.

Дѣйствительно, количество выдѣляемаго углекислаго газа, независимо отъ напряженія лучей, должно измѣняться при барометрическихъ и температурныхъ колебаніяхъ.

§ 10. *Опредѣленіе нормальнаго химическаго дѣйствія дневного свѣта.* Маршанъ пытался опредѣлить наибольшее возможное дѣйствіе всего дневного свѣта на единицѣ горизонтальной поверхности *).

Воспользовавшись въ 1870 и 1871 г. тѣми днями, когда небо было совершенно чисто, Маршанъ тщательно изслѣдовалъ постепенныя измѣненія химическаго дѣйствія дневного свѣта съ высотою солнца и пришелъ къ заключенію, что частныя, полученныя отъ раздѣленія химической энергіи дневного свѣта, выраженной въ кубическихъ сантиметрахъ выдѣляющейся въ одну минуту углекислоты, на высоту солнца въ градусахъ, представляютъ ариѳметическую прогрессію, первый членъ которой равенъ 0.000923, а разность этой прогрессіи: 0.00000729.

Такимъ образомъ для высоты солнца h надъ горизонтомъ будемъ имѣть:

$$\frac{C+S}{h}=0.000923+(h-1)\ 0.00000729;$$

откуда химическая энергія солнечныхъ лучей и разсѣяннаго свѣта неба, при высотѣ солнца h надъ горизонтомъ, можетъ быть выражена въ кубическихъ миллиметрахъ выдѣляющейся углекислоты формулою:

$$C+S=0.9157\,h+0.00729h^2.$$

При этомъ Маршанъ вычислилъ таблицу, которая даетъ нормальное дѣйствіе дневного свѣта для каждаго градуса высоты солнца надъ горизонтомъ отъ 1° до 90°.

варя, 16 февраля, 19 апрѣля, 26 мая, 22 іюня, 22 іюля, 18 августа, 24 сентября, 2 октября 1870 года и 23 марта 1871 года.

*) Marchand, p. 102.

Кромѣ того Маршанъ, утвердивъ свой актинометръ на геліостатѣ, опредѣлилъ нормальное дѣйствіе свѣта на поверхность, остающуюся постоянно перпендикулярною къ солнечнымъ лучамъ.

Результаты послѣднихъ наблюденій могутъ быть выражены въ кубич. сантим. слѣдующею формулою:

$$C+J=0.001392h+0.000002h^2.$$

На основаніи этихъ данныхъ Маршанъ теоретически опредѣлилъ для каждаго градуса высоты солнца энергію солнечныхъ лучей и разсѣяннаго свѣта, у поверхности океана, въ кубическихъ сантиметрахъ образующейся углекислоты, а также въ калоріяхъ и наконецъ въ механическихъ единицахъ.

Первая изъ этихъ таблицъ послужила Маршану для теоретическаго вывода дѣйствія дневного свѣта въ Фекамѣ въ различные часы дня: 5-го, 15-го и 25-го чиселъ каждаго мѣсяца.

Взявъ сумму часовыхъ дѣйствій, Маршанъ получилъ нормальный максимумъ для цѣлаго дня, при совершенно чистой атмосферѣ.

На основаніи послѣднихъ результатовъ Маршанъ представилъ характеристику химическаго климата въ Фекамѣ, приведя въ параллель тѣ теоретическіе выводы, которые получены имъ были для Оранжа, по десятилѣтнимъ наблюденіямъ надъ облачностью Гаспарена.

Городъ Фекамъ лежитъ подъ 49°40′ с. ш., а г. Оранжъ— подъ 44°8′ с. ш. Въ Оранжѣ средняя годовая облачность 0.113, средняя годовая ясность неба 0.887; въ Фекамѣ средняя облачность 0.590, средняя ясность 0.410. Въ Оранжѣ средній годовой максимумъ химическаго дѣйствія 25.408 куб. сант. Умножая это число на дробь 0.887, получимъ для Оранжа вѣроятное среднее годовое дѣйствіе 22.850 куб. сант., которое въ два раза больше соотвѣтственнаго числа для Фекама 11.027

и даже нѣсколько больше средняго нормальнаго максимума въ послѣднемъ городѣ (22.493).

Такимъ образомъ подъ небомъ Прованса страна оливковыхъ рощъ гораздо обильнѣе надѣляется фотохимическою энергіею, нежели туманные берега Ламанша.

Выводы Маршана чрезвычайно интересны, но, къ сожалѣнію, трудно судить, насколько они соотвѣтствуютъ дѣйствительности, такъ какъ онъ не приводитъ тѣхъ данныхъ, на которыхъ основаны его формулы. Кромѣ среднихъ чиселъ, въ его книгѣ приведены только десять рядовъ часовыхъ наблюденій, изъ которыхъ одинъ рядъ относится къ 1871 году, а прочіе къ 1870 г. Вѣроятно, эти-то ряды и послужили ему для вывода формулы, опредѣляющей химическое дѣйствіе дневного свѣта въ зависимости отъ высоты солнца надъ горизонтомъ.

Маршанъ пытался выразить изучаемую имъ реакцію въ тепловыхъ единицахъ.

Реакція, происходящая въ его приборѣ подъ вліяніемъ лучей солнца или разсѣяннаго свѣта, можетъ быть выражена слѣдующимъ уравненіемъ:

$$Fe^2Cl^3 + C^2O^3HO = 2FeCl + ClH + 2CO^2.$$

Принимая во вниманіе работы Андревса, а также Фавра и Зильбермана, Маршанъ слѣдующимъ образомъ опредѣляетъ количество теплоты, соотвѣтствующее начальному и конечному состоянію чувствительной смѣси.

До реакціи.

Fe^2Cl^3 = 162.5 даетъ		148960 калорій.
$\{C^2O^3$ = 36.0 »		66820 »
$\}$ HO = 9.0 »		34460 »
Число калорій, выдѣляемыхъ во время образованія этихъ тѣлъ		250240 калорій.

Послѣ реакціи.

$2FeCl = 127.0$	даетъ	99300	калорій.
$ClH = 36.5$	»	23780	»
$2CO^2 = 44.0$	»	96960	»
Число калорій, выдѣляемыхъ во время образованія этихъ тѣлъ		220040	калорій.

Такимъ образомъ начальному и конечному состоянію одного эквивалента чувствительной смѣси (207.5 гр.) соотвѣтствуютъ: 250240 и 220040 калорій, такъ что при сожиганіи одного эквивалента щавелевой кислоты ($C^2O^3HO = 45$ гр.), вслѣдствіе чего образуется 44 грамма углекислоты ($2CO^2$), выдѣляется 30200 калорій.

Такъ какъ 44 грамма углекислоты, при температурѣ 0^0 и барометрическомъ давленіи 760 мм., занимаютъ объемъ 22250 куб. сант., то отсюда находимъ, что одному кубич. сантиметру выдѣляющейся въ приборѣ углекислоты соотвѣтствуетъ 1.356 калорій **).

§ 11. *Нормальныя фотохимическія дѣйствія въ различныхъ широтахъ земного шара.* Маршанъ приводитъ также таблицы, которыя показываютъ возможныя фотохимическія дѣйствія, при совершенномъ отсутствіи облаковъ, въ дни равноденствія, лѣтняго и зимняго солнцестояній, для различныхъ широтъ земного шара. Таблицы эти были вычислены Маршаномъ по наблюденіямъ 1871 года; результаты, полученные по наблюде-

*) Marchand. p. 80.

**) По поводу этого вычисленія Радо (Radiations Chimiques, p. 77) говоритъ: «Но во-первыхъ разность искомая отрицательная, такъ какъ теплота образованія меньше для конечнаго состоянія, нежели для начальнаго; предшествующее вычисленіе, если бы оно основывалось на точныхъ данныхъ, привело бы къ поглощенію теплоты».

«Потомъ нужно сказать, что Маршанъ принимаетъ для теплоты образованія хлористаго желѣза числа болѣе или менѣе гипотетичныя; подставляя данныя Томсеномъ, прійдемъ къ совершенно другому результату»

ніямъ въ другіе годы, отличаются отъ приведенныхъ только въ двухъ послѣднихъ десятичныхъ знакахъ.

Изъ таблицъ и діаграммъ Маршана можно сдѣлать слѣдующіе выводы:

1. Въ дни равноденствія химическое дѣйствіе свѣта медленно убываетъ отъ экватора до 5° широты; далѣе это убываніе идетъ съ увеличивающеюся скоростью до 45°, а затѣмъ уменьшеніе энергіи снова замедляется до самаго полюса, гдѣ въ это время года фотохимическое дѣйствіе почти совершенно не обнаруживается.

2. Во время зимняго солнцестоянія химическое дѣйствіе свѣта убываетъ еще съ большею быстротою, начиная отъ экватора до полярнаго круга, гдѣ оно совершенно прекращается, такъ какъ въ полярныхъ странахъ въ это время года солнце не поднимается надъ горизонтомъ.

3. Во время лѣтняго солнцестоянія химическое дѣйствіе свѣта возрастаетъ съ уменьшающеюся скоростью отъ экватора до 25°; отъ этой широты оно начинаетъ убывать съ возрастающею скоростью до полярнаго круга; отъ полярнаго же круга до полюса въ химическомъ напряженіи свѣта почти не замѣчается никакихъ колебаній. При этомъ химическое дѣйствіе свѣта на полюсѣ болѣе, чѣмъ на экваторѣ, такъ какъ въ это время года солнце въ полярныхъ странахъ остается постоянно надъ горизонтомъ.

На основаніи послѣдняго вывода Маршанъ полагаетъ, что явленія земного магнитизма обусловливаются фотохимическою энергіею солнечныхъ лучей.

Еще Амперъ полагалъ, что солнце оказываетъ весьма значительное вліяніе на магнитизмъ земного шара. Изученіе мѣсячныхъ варіацій магнитнаго склоненія подтвердило мысль Ампера; но знаменитый ученый искалъ причину явленія въ электрическихъ токахъ, вызываемыхъ неравномѣрнымъ распредѣленіемъ солнечной теплоты на земной поверхности, въ раз-

личное время дня и года. По мнѣнію же Маршана, магнитныя явленія на землѣ зависятъ отъ фотохимической энергіи, которая въ значительномъ количествѣ накопляется во время каждаго солнцестоянія на освѣщаемомъ солнечными лучами полюсѣ и, не затрачиваясь тамъ на растительные процессы, передается черезъ почву противоположному концу земной оси.

ГЛАВА V.

Изслѣдованія Пернтера

§ 12. Бунзенъ и Роско, какъ мы видѣли *), пришли къ заключенію, что химическое напряженіе разсѣяннаго свѣта небеснаго свода можетъ быть выражено формулою:

$$H=2.776+80.849\cos z-45.996\cos^2 z \quad \ldots. \quad (1)$$

Кромѣ того, они нашли, что для перпендикулярно падающихъ на освѣщаемую поверхность солнечныхъ лучей справедлива формула Бугера.

По наблюденіямъ же Маршана, химическое дѣйствіе дневного свѣта на единицѣ горизонтальной поверхности опредѣляется формулою:

$$C+S=0.0009157h+0.00000729h^2 \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Пернтеръ **) старался опредѣлить, насколько формулы Бунзена и Роско, а также Маршана на самомъ дѣлѣ соотвѣтствуютъ дѣйствительности.

Изъ этихъ формулъ должны вытекать слѣдующія заключенія.

1. Химическое напряженіе дневного свѣта должно быть функціею одной только высоты солнца надъ горизонтомъ.

---

*) См. стр. 3, ч. II.

**) Pernter: Zeitschrift der Österr. Gesellschaft für Meteorologie 1879, p. 2101.

2. Максимумъ химическаго дѣйствія долженъ наступать при наибольшей высотѣ солнца, т. е. въ полдень.

3. Кривая дневного хода химическаго напряженія должна быть симметричною относительно полдня.

По тѣмъ часовымъ наблюденіямъ, которыя даны Маршаномъ для десяти мѣсяцевъ *), Пернтеръ нашелъ среднія значенія для каждаго часа, которыя мы здѣсь приводимъ.

Часы.	Куб. сант.	Часы.	Куб. сант.
6— 7	0.53	12—1	3.75
7— 8	1.31	1—2	3.48
8— 9	1.59	2—3	2.73
9—10	2.26	3—4	1.99
10—11	2.88	4—5	1.38
11—12	3.27	5—6	0.61

Изъ этихъ среднихъ чиселъ можно сдѣлать слѣдующіе выводы:

1. Максимумъ химическаго напряженія свѣта въ Фекамѣ бываетъ вообще между 12 и 1 часомъ пополудни.

2. Между 10 и 12 часами возрастаніе химическаго напряженія свѣта замедляется.

Для одной и той же высоты солнца химическое напряженіе меньше утромъ, нежели пополудни, при чемъ разница тѣмъ значительнѣе, чѣмъ больше высота солнца надъ горизонтомъ.

На основаніи этихъ выводовъ Пернтеръ приходитъ къ заключенію, что ходъ химическаго напряженія дневного свѣта не можетъ быть выраженъ простымъ уравненіемъ.

Но по наблюденіямъ Роско ходъ химическаго напряженія дневного свѣта выражается уравненіемъ:

$$J_a = J_0 + \text{cost.} \times a \quad \ldots\ldots \quad (3),$$

гдѣ J_0 напряженіе свѣта, когда солнце на горизонтѣ; постоянное же должно быть вычислено изъ наблюденій.

---

* См. стр. 26, часть II.

Пернтеръ нашелъ, что постоянныя этого уравненія имѣютъ особыя значенія для каждаго мѣста наблюденія, какъ показываетъ вычисленная имъ таблица.

Мѣста наблюденія.	Значенія J_0.	Постоянныя.
Манчестеръ	+ 0.011	+ 0.0033
Четамъ	— 0.016	+ 0.0035
Кью	+ 0.011	+ 0.0052
Гейдельбергъ	— 0.011	+ 0.0084
Квинто	— 0.0199	+ 0.00556
Катанія	— 0.007	+ 0.00569
Пара	+ 0.056	+ 0.01229

Изъ приведенной таблицы видно, что для J_0 преимущественно получаются отрицательныя значенія. Такъ какъ отрицательныя значенія для J_0 не могутъ имѣть мѣста, то, значитъ, законъ прямыхъ линій нельзя считать вполнѣ справедливымъ.

Разсмотрѣвъ ходъ химическаго напряженія дневного свѣта въ различныхъ пунктахъ, Пернтеръ приходитъ къ слѣдующимъ выводамъ.

1. Ходъ химическаго напряженія дневного свѣта, какъ и суточный ходъ температуры, не можетъ быть точно выраженъ простою функціею высоты солнца надъ горизонтомъ; наиболѣе же соотвѣтствующею дѣйствительности слѣдуетъ признать формулу $J_a = J_0 + \text{const} \times a$, хотя постоянныя этой формулы должны имѣть особыя значенія не только для различныхъ мѣстъ, но даже и для различныхъ временъ года въ одномъ и томъ же мѣстѣ наблюденій.

Найти же такое уравненіе, которое давало бы возможность опредѣлить химическое напряженіе для каждаго мѣста земной поверхности, въ извѣстное время дня и года, невозможно.

2. Ходъ химическаго напряженія въ теченіе дня, по всей вѣроятности, зависитъ не только отъ высоты солнца, но и отъ влажности воздуха, а также и отъ всѣхъ тѣхъ условій, которыя вліяютъ на опалесценцію атмосферы.

3. Только продолжительныя наблюденія въ связи съ изученіемъ распредѣленія влажности въ атмосферѣ могутъ привести къ болѣе точному формулированію закона измѣненія химическаго напряженія свѣта въ теченіе дня *).

ГЛАВА VI.

Общее заключеніе.

§ 13. Наблюденія Бунзена и Роско, а также Маршана, показали, что значительная часть фотохимической энергіи, приносимой на землю солнечными лучами, задерживается земною атмосферою, даже въ наиболѣе ясные, безоблачные дни.

Какимъ образомъ затрачивается эта часть лучистой энергіи? Быть можетъ, нѣкоторая часть ея, трансформируясь, обусловливаетъ собою магнитныя или электрическія явленія на земной поверхности. Но при настоящемъ состояніи науки вопросы эти не могутъ подлежать обсужденію.

Въ то же время земная атмосфора своимъ разсѣяннымъ и отраженнымъ свѣтомъ въ значительной степени усиливаетъ непосредственное дѣйствіе солнечныхъ лучей.

Въ дни равноденствія отъ полюса до широты Петербурга въ теченіе цѣлаго дня химическое дѣйствіе разсѣяннаго свѣта небеснаго свода больше, нежели дѣйствіе непосредственныхъ солнечныхъ лучей.

Кромѣ того, во всѣхъ широтахъ, обыкновенно при незначительныхъ высотахъ солнца надъ горизонтомъ преобладаетъ дѣйствіе разсѣяннаго свѣта, пока солнце не достигнетъ 50^0 высоты.

---

*) Весьма полезныя указанія относительно распредѣленія водяныхъ паровъ въ атмосферѣ въ этомъ случаѣ могли бы дать такъ называемыя «дождевыя полосы» въ солнечномъ спектрѣ, открытыя Piazzi Smith'омъ.

Такимъ образомъ, благодаря регулирующему вліянію земной атмосферы, гораздо равномѣрнѣе распредѣляется фотохимическая энергія на всей земной поверхности. Въ Каирѣ химическое дѣйствіе всего дневного свѣта всего только въ пять разъ, а въ Гейдельбергѣ въ два раза больше, нежели на островѣ Мельвиллѣ, отстоящемъ только на 15° отъ полюса.

Но вообще отношеніе химическихъ напряженій солнечныхъ лучей и разсѣяннаго свѣта небеснаго свода, при одной и той же высотѣ солнца, въ различныхъ мѣстахъ не одинаково, и измѣняется съ прозрачностью атмосферы.

Лишь только небо начинаетъ покрываться облаками, а также при наступленіи тумана, химическое дѣйствіе разсѣяннаго свѣта становится весьма неравномѣрнымъ.

Тонкія, бѣлыя облака усиливаютъ химическое дѣйствіе разсѣяннаго свѣта; напротивъ, густыя облака и туманы въ значительной степени его ослабляютъ.

Но степень вліянія облачности, какъ нашелъ г. Штеллингъ, обусловливается относительнымъ положеніемъ облаковъ, такъ что иногда при большей облачности химическое напряженіе свѣта больше, нежели при меньшей. Если же солнце закрывается облаками, то въ среднемъ напряженіе свѣта понижается на 30%, и чѣмъ солнце при этомъ выше надъ горизонтомъ, тѣмъ въ большей степени понижается радіація. Послѣдній выводъ, очевидно, согласуется съ наблюденіями Роско, по которымъ химическое дѣйствіе непосредственныхъ солнечныхъ лучей начинаетъ преобладать въ дневномъ свѣтѣ лишь только при достиженіи солнцемъ высоты въ 50°.

Лучи, идущіе непосредственно отъ солнца, а также разсѣиваемые небеснымъ сводомъ, обусловливаютъ собою химическое напряженіе всего дневного свѣта, измѣненія котораго, по выводамъ Роско, пропорціональны высотѣ солнца, въ предѣлахъ отъ 10° до 60°.

Но уже самъ Роско замѣтилъ, что прямыя линіи, выражающія ходъ химическаго напряженія дневного свѣта съ высо-

тою солнца, имѣютъ различныя направленія, смотря по времени года и мѣсту наблюденія. Эти измѣненія въ направленіи прямыхъ Роско приписывалъ вліянію *опалесценціи* атмосферы, зависящей отъ средней температуры воздуха.

Маршанъ, съ своей стороны, далъ формулу, выражающую ходъ химическаго напряженія дневного свѣта, въ зависимости отъ высоты солнца.

Пернтеръ, занимавшійся изслѣдованіемъ этого вопроса, начертилъ двѣ кривыя: одну—на основаніи среднихъ, найденныхъ изъ часовыхъ наблюденій Маршана, а другую—на основаніи значеній, вычисленныхъ по формулѣ Маршана. Различіе въ ходѣ этихъ кривыхъ очевидное. Такимъ образомъ по выводамъ Пернтера формула Маршана не можетъ точно выражать ходъ химическаго напряженія дневного свѣта. Далѣе Пернтеръ нашелъ среднія значенія изъ наблюденій, произведенныхъ Роско въ семи различныхъ пунктахъ, и сравнилъ ихъ съ вычисленными по формулѣ: $J = J_0 + \text{const} \times a$.

Среднія изъ наблюденій вообще мало отличались отъ вычисленныхъ, но такъ какъ при этомъ найденныя имъ значенія для J_0 въ большинствѣ случаевъ оказались отрицательными, то Пернтеръ заключилъ, что законъ прямыхъ линій не вполнѣ справедливъ.

Сверхъ того постоянныя оказались различными для каждаго мѣста наблюденія. Тамъ, гдѣ господствуютъ сухіе сѣверо-восточные вѣтры, и высокая температура препятствуетъ сгущенію водяныхъ паровъ, для постоянныхъ получаются большія значенія, какъ напримѣръ въ Пара.

Напротивъ, въ сѣверныхъ странахъ, вслѣдствіе вліянія влажныхъ юго-западныхъ вѣтровъ, при болѣе низкой температурѣ, какъ въ Манчестерѣ, постоянныя гораздо меньше.

Таковы въ общихъ чертахъ результаты опытныхъ и теоретическихъ изслѣдованій относительно распредѣленія химической

энергіи солнечныхъ лучей и всего дневного свѣта, а также вліянія атмосферы при большей или меньшей облачности.

Эти немногіе выводы, конечно, не достаточны для характеристики химическихъ климатовъ, имѣющихъ несомнѣнно огромное вліяніе на органическую жизнь земного шара.

Что касается вопроса о томъ, насколько согласны между собою выводы, полученные при помощи различныхъ методовъ измѣренія химической энергіи, то въ этомъ отношеніи весьма трудно ожидать полнаго согласія, такъ какъ различные реактивы неодинаково чувствительны къ отдѣльнымъ частямъ солнечнаго спектра, какъ это наглядно показываютъ кривыя Маршана, Бунзена и Роско, а также Фавра и Зильбермана *).

Фогель говоритъ, что около 7 часовъ утра обыкновенно наибольшее химическое дѣйствіе обнаруживаютъ синіе и голубые лучи, и только около полудня—фіолетовые.

Такъ какъ первые преимущественно дѣйствуютъ на реактивъ Маршана, а смѣсь хлора и водорода въ особенности чувствительна къ фіолетовому концу спектра, то очевидно, одновременныя наблюденія помощью этихъ двухъ методовъ не могутъ быть согласны между собою.

Эту неодинаковую чувствительность реактивовъ къ отдѣльнымъ частямъ солнечнаго спектра всегда нужно имѣть въ виду при измѣреніи химической энергіи солнечныхъ лучей.

Такимъ образомъ измѣреніе химической энергіи солнечной радіаціи представляется весьма сложною и чрезвычайно трудною операціею. Для полнаго изученія химическаго дѣйствія лучистой энергіи требуются одновременныя наблюденія различными методами.

Какіе же методы наиболѣе могутъ характеризовать химическую энергію солнечной радіаціи?

При изученіи химическаго дѣйствія солнечныхъ лучей и разсѣяннаго свѣта въ особенности интересенъ вопросъ о влія-

---

*) См. стр. .

нія фотохимической энергіи на растительный міръ земного шара, и въ этомъ отношеніи ни чувствительная смѣсь хлора и водорода, ни реактивъ Маршана не соотвѣтствуютъ цѣли.

Простой опытъ показываетъ, что разложеніе растеніями углекислоты производится наименѣе преломляющимися лучами солнечнаго спектра. Свѣтъ, пропущенный сквозь оранжевый растворъ двухромокислаго кали, вызываетъ довольно сильное разложеніе углекислоты въ зеленыхъ частяхъ растеній; напротивъ, если пропустить свѣтъ сквозь растворъ аммiачной окиси мѣди, то въ этомъ темносинемъ свѣтѣ зеленый листъ почти не разлагаетъ углекислоты *).

Сильнѣе всего разложеніе углекислоты зелеными частями растеній происходитъ подъ вліяніемъ красныхъ лучей, что объясняется особыми свойствами зеленаго вещества растеній—*хлорофилла*.

Хлорофиллъ обладаетъ замѣчательными оптическими свойствами. Растворъ его флюоресцируетъ, сильно отливаетъ краснымъ цвѣтомъ, хотя на живомъ растеніи это совершенно не замѣтно.

Если свѣтъ, прошедшій черезъ зеленый настой хлорофилла, пропустить сквозь призму, то получается замѣчательный спектръ: въ красной его части оказывается широкая черная полоса; менѣе же рѣзкія темныя полоски находятся также въ оранжевой, желтой и зеленой частяхъ.—Эти-то лучи, такъ сильно поглощаемые хлорофилломъ, сильнѣе всѣхъ прочихъ вызываютъ разложеніе углекислоты зелеными частями растеній.

Поэтому для опредѣленія химической энергіи лучей, наиболѣе способствующихъ развитію растеній, необходимо примѣненіе реактивовъ, чувствительныхъ къ краснымъ лучамъ.

Этимъ требованіямъ отчасти удовлетворяетъ фотографическій методъ Роско, такъ какъ хлористое серебро, послѣ кратковременнаго вліянія на него фіолетовыхъ лучей, какъ най-

---

*) И. П. Бородинъ: Учебникъ ботаники, 1890, стр. 259. С.-Петербургъ.

дено было Беккерелемъ, дѣлается чувствительнымъ и къ краснымъ лучамъ. Въ этомъ отношеніи весьма важно было бы сравнительными опытами установить по возможности точное соотношеніе между оптическимъ напряженіемъ свѣта и его химическимъ дѣйствіемъ на чувствительную бумагу; но, какъ мы видѣли изъ наблюденій Роско, между обоими дѣйствіями нѣтъ никакой пропорціональности.

Вотъ тѣ скудныя свѣдѣнія, которыя составляютъ въ настоящее время достояніе науки относительно химической энергіи солнечной радіаціи. Насколько они не полны и не согласны между собою, можно видѣть изъ слѣдующихъ сопоставленій.

Согласно измѣреніямъ Лангле, тепловое напряженіе солнечныхъ лучей на границѣ нашей атмосферы не менѣе 3 калорій.

Дѣйствіе, которое тамъ произвели бы лучи на смѣсь хлора и водорода, по Бунзену и Роско, опредѣляется 3500 куб. саж. хлористаго водорода, при чемъ эта химическая реакція должна сопровождаться выдѣленіемъ 3700 калорій. Дѣйствуя на реактивъ Марміана, тѣже самые лучи должны дать около 0.2 куб. сант. углекислоты; но такая реакція соотвѣтствуетъ всего только нѣкоторой доли тепловой единицы.

Наконецъ, если мы пожелаемъ составить себѣ понятіе о первоначальной энергіи солнечныхъ лучей, принимая во вниманіе количество разлагаемой растеніями углекислоты, то прійдемъ къ новому результату. Подобныя вычисленія Радо *) показываютъ, что дѣйствіе свѣта на границѣ нашей атмосферы эквивалентно 0.008 куб. сант. углекислоты въ одну минуту, что соотвѣтствуетъ поглощенію 0.03 калоріи.



*) Radau: Les radiations chimiques, p. 79.

II. Измѣренія тепловой энергіи солнечныхъ лучей.

ГЛАВА VII.

Начало новыхъ изслѣдованій.

§ 14. Изъ старыхъ наблюденій наиболѣе точныя принадлежатъ Пулье, который съ 1837 года произвелъ весьма много изслѣдованій. Выбравъ наиболѣе удачные ряды наблюденій, произведенныхъ въ Парижѣ въ 1837 и 1838 г., Пулье нашелъ, что на границѣ атмосферы, при перпендикулярномъ паденіи лучей, каждый квадратный сантиметръ получаетъ 1.7633 малыхъ калорій въ одну минуту.

Въ началѣ шестидесятыхъ годовъ вопросъ о солнечной радіаціи вступилъ въ новую фазу, благодаря цѣлому ряду замѣчательныхъ работъ. Въ то время, какъ Ватерстонъ производилъ наблюденія въ Индіи, а Эриксонъ въ Америкѣ, Секки работалъ въ Римѣ.

Къ тому же времени относятся первыя экспериментальныя изслѣдованія Тиндалля относительно поглощенія тепловыхъ лучей различными парами и газами.

§ 15. *Наблюденія Соре.* Для метеорологіи весьма важное значеніе представлялъ выводъ Тиндалля о той огромной поглощательной способности, которая приписывалась водяному пару. Лабораторныя работы Тиндалля подтверждались также наблю-

деніями Соре *), который съ 1867 по 1869 годъ произвелъ многочисленныя наблюденія помощью своего актинометра въ Женевѣ и на различныхъ вершинахъ Альпъ: Монбланѣ, Брейторнѣ, Фаульгорнѣ и на другихъ.

«Группируя», говоритъ Соре, «по степени упругости водяного пара наблюденія, сдѣланныя (въ Женевѣ) при одинаковыхъ высотахъ солнца, т. е. соединяя всѣ наблюденія, соотвѣтствующія атмосферной влажности, взятой между извѣстными предѣлами, и беря среднія, получаемъ тѣмъ большія значенія, чѣмъ воздухъ суше».

По его наблюденіямъ, зимою, когда воздухъ чистъ и свободенъ отъ пыли, около полудня напряженіе солнечныхъ лучей сильнѣе, нежели въ тѣже часы въ іюнѣ или въ іюлѣ.

Соре часто производилъ сравнительныя измѣренія, пропуская сперва солнечные лучи непосредственно на термометръ своего прибора, а потомъ заставляя ихъ предварительно проходить черезъ слой воды, толщиною въ 6 сант. Процентное отношеніе лучей, проходящихъ черезъ водяной слой, конечно увеличивалось съ количествомъ паровъ въ атмосферѣ. Такимъ образомъ Соре нашелъ, что при одинаковой прозрачности воздуха, проходимость лучей черезъ водяной слой тѣмъ большая, чѣмъ значительнѣе упругость водяного пара въ атмосферѣ. Однако Соре прибавляетъ, что эта проходимость гораздо больше около полудня, нежели при восходѣ и закатѣ солнца. Такъ 25 іюля 1868 года на вершинѣ Фаульгорнъ имъ констатирована была слѣдующая проходимость солнечныхъ лучей, неисправленная впрочемъ отъ потери вслѣдствіе отраженія на стеклянныхъ стѣнкахъ сосуда:

въ	5 ч.	утра		0.506
»	6 »	»		0.584
»	10 » 30′	»		0.608
»	7 » 30′	вечера		0.441.

*) Comptes Rendus de la première session de l'Association française pour l'avancement des sciences. 1872.

Результаты Соре, неподтвердившіеся впрочемъ наблюденіями Дезена, объяснить весьма трудно, такъ какъ вблизи горизонта солнечные лучи на пути своемъ болѣе подвергаются поглощенію въ атмосферѣ, и, слѣдовательно, должны терять меньшую часть при прохожденіи черезъ воду.

Въ противоположность увѣреніямъ Форбса, Соре нашелъ, что для одной и той же толщины атмосферы солнечное напряженіе всегда больше на вершинахъ горъ, нежели у подошвы. Такъ, напримѣръ, на Теодулѣ, при толщинѣ атмосферы 1.146, избытокъ температуры T былъ равенъ 16°31, а въ Женевѣ, при e=1.050, T равнялось 15°58. Отсюда слѣдуетъ, что при одинаковой массѣ воздуха, нижніе слои атмосферы болѣе поглощаютъ солнечные лучи, нежели верхніе, вслѣдствіе большаго содержанія водяныхъ паровъ и пыли.

§ 16. *Изслѣдованія Дезена и Бранли.* Въ 1869 году Дезенъ, вмѣстѣ съ Бранли, предпринялъ рядъ изслѣдованій, для рѣшенія нѣкоторыхъ вопросовъ относительно солнечнаго лучеиспусканія. Вопросы эти были слѣдующіе *):

1. Опредѣлить вліяніе высоты мѣста на напряженіе теплового дѣйствія, оказываемаго солнцемъ въ различныхъ точкахъ, расположенныхъ приблизительно на одной вертикальной линіи.

2. Опредѣлить вліяніе высоты мѣста на составъ солнечныхъ лучей.

3. Опредѣлить, какимъ образомъ измѣняется съ высотою солнца составъ солнечной радіаціи, посылаемой въ одну и туже точку, когда количество паровъ, заключающихся въ воздухѣ, остается постояннымъ во все время наблюденій.

Наблюденія относительно вліянія высоты мѣста на напряженіе и составъ солнечной радіаціи происходили отъ 8 по 15

---

*) Comptes Rendus des sciences 1869, 1874 и 1875. «Recherches sur le rayonnement solaire».

сентября въ Люцернѣ и въ отелѣ Righi Culm (1450 м. надъ озеромъ).

Солнечное напряженіе, при всѣхъ прочихъ одинаковыхъ условіяхъ, въ одинъ и тотъ же часъ, оказалось большимъ на вершинѣ, нежели въ Люцернѣ, а проходимость лучей черезъ воду и квасцы была меньше на первой станціи, нежели на второй. Такъ, напримѣръ, 13 сентября въ 7 ч. 45′ утра, при благопріятной погодѣ, дѣйствіе солнечныхъ лучей на вершинѣ Риги дало отклоненіе стрѣлки гальванометра на 27°.2; въ Люцернѣ въ тоже время второй приборъ показывалъ 30°.3. Но послѣдній приборъ, какъ оказалось, былъ чувствительнѣе перваго; приведенный къ той же чувствительности, онъ долженъ былъ бы показывать всего 22°.5 отклоненія стрѣлки гальванометра. Отсюда было найдено, что 13 сентября въ 7 часовъ 45 м. солнечные лучи, проходя слой воздуха между Риги и Люцерномъ, теряли 17%.

Но въ тоже время проходимость лучей черезъ слой воды въ 8 мм. на Риги выразилась дробью 0.685, а въ Люцернѣ 0.73.

Дезеномъ и Бранли сдѣланы были также многочисленныя наблюденія надъ измѣняемостью состава солнечной теплоты, въ зависимости отъ толщины атмосферы и количества водяныхъ паровъ.

Первый рядъ наблюденій сдѣланъ былъ съ 15 іюля по 15 сентября. Оказалось, что въ Люцернѣ, какъ и въ Парижѣ, солнечная теплота утромъ въ большемъ количествѣ проходитъ черезъ воду, нежели въ полдень. Такъ 13 сентября въ 7 час. 30 м. утра въ Люцернѣ солнечная теплота проходила въ отношеніи 0.755 черезъ заключенный въ стекло слой воды, толщиною въ 4 мм.; въ полдень проходимость черезъ такой же слой выразилась дробью 0.71. Въ августѣ для Парижа найдена была еще бóльшая разница въ проходимости лучей утромъ и въ полдень.

Напротивъ въ октябрѣ, когда температура по утрамъ близка была къ 0° и значительно поднималась къ полдню, проходимость лучей почти не измѣнялась.

Объясняется это тѣмъ обстоятельствомъ, что осенью меньшія разности въ проходимыхъ массахъ воздуха, и вліяніе ихъ уменьшается, вслѣдствіе значительнаго увеличенія количества паровъ въ атмосферѣ съ высотою солнца.

Спектроскопическія наблюденія привели Дезена къ аналогичнымъ результатамъ. Въ Люцернѣ 13 и 14 сентября тепловой максимумъ замѣчался въ полдень нѣсколько далѣе отъ краснаго цвѣта, нежели утромъ. Въ октябрѣ, напротивъ, положеніе его оставалось неизмѣннымъ, также какъ и проходимость лучей черезъ водяной слой.

Къ сожалѣнію, совмѣстныя наблюденія Дезена и Бранли были не продолжительны. Въ слѣдующемъ году Дезенъ одинъ только продолжалъ работу.

«Было бы очень важно», говоритъ онъ *), «изучить на высокихъ вершинахъ дневныя измѣненія солнечной радіаціи и особенно въ хорошіе дни, подобно тому, какъ Франкландъ недавно сдѣлалъ весьма интересныя наблюденія въ Davos-Dölfli. Въ самомъ дѣлѣ, при такихъ условіяхъ атмосферный слой, прилегающій къ почвѣ, часто не заключаетъ и десятой доли тѣхъ паровъ, которые содержатся въ Парижѣ, при равной толщинѣ».

«Сверхъ того, тѣ измѣненія, которымъ еще можетъ подвергнуться тамъ незначительное количество паровъ, не въ состояніи совершенно уничтожить однообразіе состава атмосферы».

Если обыкновенно рѣдко можно встрѣтить такіе дни, когда солнечная радіація, при одинаковыхъ высотахъ солнца до и послѣ полудня, имѣетъ одно и тоже напряженіе, одну и туже проходимость черезъ опредѣленный слой воды; если, за отсут-

*) Desains: «Etudes des radiations solaires», Comptes Rendus 1874, p. 1455.

ствіемъ полной симметріи, полученные результаты и не могутъ быть точно выражены логариѳмическою формулою—во всякомъ случаѣ наблюденія въ такіе дни могутъ дать полезныя указанія относительно измѣненій абсолютнаго количества водяныхъ паровъ.

Если, напримѣръ, говоритъ Дезенъ, въ два часа пополудни проходимость солнечныхъ лучей черезъ слой воды оказалась большею, нежели въ 10 часовъ утра, то отсюда не только можно заключить объ увеличеніи вѣсового количества пара въ атмосферѣ, но не трудно и опредѣлить это увеличеніе посредствомъ жидкой колонны, если предварительно знать толщину слоя воды, которая производитъ такое же дѣйствіе, какъ и прибавившійся водяной паръ въ атмосферѣ.

Такимъ образомъ Дезенъ допускаетъ, что водяной паръ оказываетъ на солнечные лучи такое же дѣйствіе, какъ и равная ему масса воды въ жидкомъ состояніи (что впрочемъ, какъ мы видѣли *), не подтверждается новѣйшими наблюденіями Ангстрема).

Такимъ образомъ Дезенъ полагалъ, что наблюденія этого рода могутъ послужить къ точному опредѣленію всего количества воды, распространенной въ атмосферѣ въ видѣ пара.

«Представимъ себѣ», говоритъ Дезенъ, «небольшой ширины долину, окруженную высокими горами. Если сдѣлать одновременно гигрометрическія наблюденія на днѣ долины, на склонахъ и на вершинахъ горъ, которыя ее окружаютъ, то можно изъ этихъ наблюденій заключить о среднемъ гигрометрическомъ состояніи воздуха въ долинѣ, а слѣдовательно и о среднемъ вѣсовомъ количествѣ водяного пара, находящагося въ опредѣленной колоннѣ воздуха. Если въ тоже время наблюдать напряженіе и проходимость солнечныхъ лучей для одной и той же высоты солнца надъ горизонтомъ, но при различномъ гигрометрическомъ состояніи воздуха, то мы будемъ имѣть всѣ не-

*) См. стр. 215, часть I.

обходимые элементы для построенія гигрометрическихъ таблицъ, при помощи которыхъ, по измѣненію проходимости лучей, можно будетъ судить объ измѣненіи вѣса водяного пара, заключающагося въ опредѣленномъ слоѣ атмосферы».

ГЛАВА VIII.

Наблюденія Віолля.

§ 17. Въ 1874 году Віолль, примѣняя статическій методъ, произвелъ рядъ относительныхъ измѣреній въ Греноблѣ *).

При помощи своего прибора Віолль опредѣлялъ избытки температуръ вычерненнаго термометра въ тѣ моменты, когда они становились стаціонарными.

Приводимъ результаты его наблюденій въ полдень съ 8 марта 1874 года по 11 февраля 1875 года.

	Избытки.	Числ. наб.	Средніе.
8—12 марта	отъ 10°.4—до 11°.5	6	11°.1
25—30 апрѣля....	» 10.6— » 11.0	3	10.8
4—21 мая	» 10.6— » 11.5	5	11.1
11—23 іюня......	» 10.8— » 11.7	4	11.1
10—27 іюля......	» 11.5— » 12.3	2	11.9
7 авг.—5 сентяб. ..	» 10.8— » 12.3	7	11.7
27—28 янв. 1875 г.	» 10.9— » 11.5	2	11.2
1—11 февраля ..	» 11.5— » 11.9	3	11.7
		32	11.3

Такимъ образомъ избытки колебались между 10°.4 и 12°.3, и среднія мѣсячныя мало отличались отъ общаго средняго 11°.3.

16-го августа 1875 года Віолль поднялся на Монъ-Бланъ. Въ то время, какъ онъ самъ производилъ измѣренія на вершинѣ горы, Марготте наблюдалъ у Боссонскаго глетчера.

*) Comptes Rendus 1875, 1876. Annales de Chimie et de Physique, mars 1877.

«Погода», говоритъ Віолль, «вполнѣ благопріятствовала наблюденіямъ; небо было совершенно чисто, воздухъ спокоенъ, какъ на вершинѣ, такъ и у подошвы горы».

Если въ данный моментъ V есть скорость нагрѣванія термометра при избыткѣ температуры θ, U—скорость охлажденія при томъ же избыткѣ, когда источникъ тепла удаленъ, то сумма $V+U$ представляетъ скорость нагрѣванія, исправленную отъ охлажденія при той же температурѣ. Такъ какъ въ теченіе небольшого промежутка времени напряженіе солнечныхъ лучей можно считать постояннымъ, то въ одномъ и томъ же ряду актинометрическихъ наблюденій всякой величинѣ θ должна соотвѣтствовать постоянная сумма $V+U$, хотя въ отдѣльности V и U измѣняются съ θ. Эта постоянная сумма представляетъ дѣйствіе солнечнаго лучеиспусканія, и если умножить ее на теплоемкость термометрическаго шарика, то получимъ численное выраженіе количества теплоты, посылаемой солнцемъ въ единицу времени.

16-го августа въ 10 ч. 22 м. на вершинѣ Монъ-Блана Віоллемъ найдены были слѣдующіе избытки *):

t	θ	θ′	θ+θ′
0′	0°.0	18°.0	18°.0
5	14°.9	3°.0	17°.9
10	17°.6	0°.6	18°.2
15	17°.9	0°.1	18°.0
20	18°.0	0°.0	18°.0

На основаніи этихъ наблюденій формулы:

$$\theta=\theta_0(1-e^{-mt}) \text{ и } \theta'=\theta_0 e^{-mt}$$

принимаютъ слѣдующій видъ:

$$\theta=18^\circ(1-e^{-0.36t}) \text{ и } \theta'=18^\circ e^{-0.36t}.$$

Отсюда скорость нагрѣванія $V=\frac{d\theta}{dt}=6^\circ.552-0.36\theta$

и скорость охлажденія $U=\frac{d\theta'}{dt}=0.36\,\theta'$.

---

*) См. стр. 99, часть I.

Для одной и той же температуры $\theta = \theta'$: $V + U = m\theta_0 = 6^\circ.552$.

Такъ какъ по опредѣленію Віолля теплоемкость термометрическаго шарика 0.222, то отсюда найдено было, что каждый квадратный сантиметръ, при перпендикулярномъ паденіи лучей, получалъ въ одну минуту 2.39 калорій.

Подобныя же наблюденія произведены были на слѣдующій день у Grands-Mulets и у того же Боссонскаго глетчера. На каждой станціи одновременно отмѣчались: атмосферное давленіе, влажность и температура воздуха.

Приводимъ результаты этихъ наблюденій:

	Мѣсто наблюденія.	Напр. J.	Темпер.	упруг.вод.пар.	Бар. давл.
16 авг. 10ч. 22м.	Монъ-Бланъ 4810м.	2.392	1°.	0.91мм.	430мм.
	Боссон. глет. 1200м.	2.022	9°.5	5.3 мм.	661мм.
17 авг. 10ч. 40м.	Gr.-Mulets 3050м.	2.057	7°.	4.0 мм.	533мм.
	Боссон. глет. 1200м.	1.817	13°.	5.3 мм.	662мм.

Къ этимъ наблюденіямъ Віолль примѣнилъ формулу *):

$$J = Ap^{\frac{H+(Z-z)kf}{760}\theta}.$$

При опредѣленіи средней упругости водяного пара Віолль различаетъ два случая:

1. Когда имѣется нѣсколько наблюденій, сдѣланныхъ одновременно на различныхъ высотахъ.

2. Когда атмосфера въ совершенномъ равновѣсіи, какъ это предполагается по формулѣ Пулье.

Наблюденія 16 августа на Монъ-Бланѣ послужили Віоллю образцомъ для перваго случая.

Упругость водяного пара на Монъ-Бланѣ 16-го августа была ниже 1 миллиметра; поэтому на высотѣ, въ два раза большей, нежели высота Монъ-Блана, по мнѣнію Віолля, воздухъ можно было считать совершенно сухимъ.

---

*) См. стр. 225, часть I.

Такимъ образомъ Віолль принимаетъ, что въ атмосферномъ слоѣ, толщиною въ 4 киллометра, выше вершины Монъ-Блана, средняя упругость водяного пара равна была 0.45 мм.

Съ другой стороны, принимая во вниманіе абсолютное спокойствіе атмосферы во время наблюденій, а также довольно ранній часъ, чтобы можно было опасаться тѣхъ движеній воздуха, которыя замѣчены были еще Форбсомъ на склонахъ горъ, Віолль взялъ для всей колонны воздуха въ 3610 метровъ, между вершиною Монъ-Блана и Боссономъ, также среднюю упругость изъ наблюденій на крайнихъ пунктахъ.

На основаніи такихъ данныхъ, Віолль нашелъ:

$$A=2.540;\ p=0.946;\ k=0.148.$$

Наконецъ Віолль вычислилъ, какое количество теплоты получалъ 16-го августа въ 10 ч. 22′, при вертикальномъ направленіи лучей, каждый квадратный сантиметръ на различныхъ уровняхъ.

	Высота.	He.	k(Z—z)fe.	J.	J/A.
Предѣлъ атм...	—	0	0	2.541	1.0
Верш. М.-Бл...	4810	541.8	309.3	2.392	0.94
Gr. Mulets....	3050	672.2	964.8	2.262	0.89
Боссонъ......	1200	832.9	2393.3	2.022	0.79
Уровень Парижа	60	956.0	4481.0	1.745	0.68.

Сравнивая соотвѣтственныя значенія He и k(Z—z)fe, можно видѣть, что вблизи земной поверхности солнечная теплота преимущественно поглощается водянымъ паромъ. Такъ, напримѣръ, до уровня Парижа во время наблюденій достигало только 0.68 посылаемой солнцемъ теплоты, и при этомъ водянымъ паромъ поглощалось въ пять разъ больше лучистой энергіи, нежели воздухомъ.

Но выводы Віолля во всякомъ случаѣ проблематическаго характера, такъ какъ распредѣленіе водяныхъ паровъ въ атмосферѣ вообще намъ не извѣстно.

Радо *) пытался выразить упругость водяныхъ паровъ въ атмосферѣ въ зависимости отъ высоты мѣста слѣдующею эмпирическою формулою:

$$\log. f = \log. 9.2 - \frac{S}{5000},$$

гдѣ S высота мѣста надъ уровнемъ моря. По этой формулѣ для уровня Парижа f=9 мм., для Боссона f=5.3 мм., для Grands-Mulets f=2.26 мм. и для вершины Монъ-Блана 1.0 мм.

Тогда результаты наблюденій Віолля можно представить слѣдующею эмпирическою формулою:

$$q = 2.636\,(0.911)^{\frac{B+200f}{760}\theta},$$

гдѣ f есть дѣйствительная (а не средняя) упругость водяного пара въ мѣстѣ наблюденія.

Въ этомъ случаѣ будемъ имѣть:

	B	200f	q(Радо)	J(Віолль)
Предѣлъ атмосферы . .	0	0	2.64	2.54
Монъ-Бланъ	430	200	2.39	2.39
Grands-Mulets	533	452	2.26	2.26
Боссонъ	661	1060	2.02	2.02
Уровень Парижа	758	1800	1.78	1.74.

Такимъ образомъ эмпирическая формула Радо также хорошо выражаетъ наблюденія, а между тѣмъ дѣйствіе водяного пара по послѣдней формулѣ всего только въ два раза съ лишнимъ превосходитъ дѣйствіе сухого воздуха.

Для второго случая, когда метеорологическія условія въ атмосферѣ остаются въ теченіе нѣсколькихъ часовъ неизмѣнными, какъ этого и требуетъ формула Пулье, Віолль приводитъ наблюденія, произведенныя имъ 12 и 13 іюля 1877 г въ Алжирѣ (Laghouat).

Во время наблюденій Віолля количество водяного пара въ воздухѣ было весьма не значительно и не измѣнялось въ те-

*) Actinométrie p. 81.

ченіе дня, такъ какъ въ этой мѣстности климатъ вообще отличается большою сухостью и постоянствомъ.

Подобно тому, какъ на Монъ-Бланѣ, Віолль и въ этомъ случаѣ опредѣлялъ напряженіе J изъ цѣлаго ряда наблюденій. Полученные имъ результаты можно выразить какъ формулою Пулье, такъ и формулою Форбса.

Въ первомъ случаѣ $J_1 = 2.40 \times 0.79^e$,

а во второмъ $J_2 = 0.75 + 1.67(2/3)^e$.

При этомъ изъ первой формулы для солнечной постоянной получается 2.40, а изъ второй 2.42 малыхъ калорій; оба эти значенія ниже числа 2.54, которое получилъ Віолль изъ наблюденій на Монъ-Бланѣ.

Причину этого явленія, безъ сомнѣнія, слѣдуетъ искать въ томъ обстоятельствѣ, что при наблюденіяхъ на горѣ Віолль могъ принять во вниманіе между прочимъ и ту часть солнечной радіаціи, которая исчезала совершенно при наблюденіяхъ на равнинѣ, вслѣдствіе отраженія и поглощенія въ атмосферѣ.

Въ заключеніе Віолль показываетъ, какимъ образомъ можно найти среднюю упругость или вѣсъ водяного пара, содержащагося въ воздухѣ, отъ предѣловъ атмосферы до мѣста наблюденія.

Пусть $i = Ap^{\frac{H+(Z-z)kf}{760}e}$, а для совершенно сухого воздуха $J = Ap^{\frac{He}{760}}$.

Тогда $\log. J - \log. i = -\frac{k(Z-z)fe}{760} \log. p.$

Такимъ образомъ вѣсъ пара $(Z-z)fe$, проходимаго солнечнымъ лучемъ, пропорціоналенъ разности логариѳмовъ J и i.

Напряженіе i опредѣляется наблюденіемъ; возможное напряженіе J, когда воздухъ совершенно сухой, дается формулою:

$$J = 2.54 \times 0.946^{\frac{He}{760}}.$$

ГЛАВА IX.

Наблюденія Крова.

§ 18. *Наблюденія въ 1875 году.* Съ 1875 года профессоръ Крова постоянно производитъ въ Монпелье актинометрическія наблюденія при помощи своихъ приборовъ.

Первый рядъ наблюденій Крова относится къ 8 января 1875 года *).

Наблюденія эти произведены были при помощи пиргеліометра Пулье, коробка котораго имѣла платинированное основаніе и была наполнена водою.

Наблюденія 8 января не представляютъ вполнѣ правильнаго ряда; къ полудню радіація быстро понижается, какъ показываютъ слѣдующія числа:

Время.	Толщина атмосферы.	Напряженіе лучей.
10 ч. 43′	2.77	1.079
11 ч. 23′	2.53	1.088
12 ч. 53′	2.54	1.060.

Изъ наблюденій 8 января Крова нашелъ для солнечной постоянной 1.898 калоріи. Число это, хотя и выше 1.7633, найденнаго Пулье, но за то ниже 2.847, найденнаго Форбсомъ изъ наблюденій, произведенныхъ при помощи актинометра Гершеля.

Полученное имъ сравнительно низкое значеніе для солнечной постоянной Крова приписываетъ тому обстоятельству, что его приборъ былъ наполненъ водою.

Вмѣстѣ съ тѣмъ Крова дѣлаетъ слѣдующее замѣчаніе относительно значеній, получаемыхъ различными наблюдателями для солнечной постоянной.

Солнечные лучи различной преломляемости вообще неодинаково поглощаются срединами. Такъ стекло, прозрачное для

*) Crova: «Mesure de l'intensité calorifique des radiations solaires». Ann. de chimie et de physique, t. XI, 1877.

всѣхъ свѣтовыхъ лучей, совершенно не пропускаетъ лучей, распространяемыхъ источниками, температура которыхъ не выше 100°. Водяной паръ и воздухъ, вѣроятно, дѣйствуютъ такимъ же образомъ, и весьма возможно, что часть солнечной радіаціи совершенно задерживается, прежде нежели достигаетъ тѣхъ атмосферныхъ слоевъ, гдѣ производятся наши измѣренія. Такое полное затуханіе нѣкоторыхъ лучей можетъ происходить постепенно, по мѣрѣ прохожденія лучами нижнихъ слоевъ атмосферы

Такимъ образомъ *солнечная постоянная представляетъ собою то напряженіе, которое должны имѣть на границѣ атмосферы лучи, могущіе достигнуть безъ полнаго поглощенія мѣста наблюденія.*

Такъ Крова вычислилъ солнечную постоянную при помощи наблюденій 4-го января 1876 г., соотвѣтствующихъ атмосфернымъ толщинамъ, взятымъ между:

2 и 3, 3 и 4, 4 и 5, 5 и 6,

и получилъ слѣдующія значенія для солнечной постоянной:

2.374; 2.314; 2.296; и 2.283.

Такимъ образомъ значенія для солнечной постоянной уменьшаются, по мѣрѣ увеличенія массы проходимаго воздуха.

Въ мемуарѣ Крова помѣщены 27 опредѣленій теплового напряженія солнечныхъ лучей во время истиннаго полдня, въ различные мѣсяцы 1875 года.

Представивъ графически суточный и годовой ходъ солнечнаго напряженія, Крова *) приходитъ къ слѣдующимъ выводамъ:

1. Есть извѣстная аналогія между годовыми и суточными варіаціями. Годовая кривая, также какъ и суточная, не симметрична и представляетъ максимумъ между 31 декабря и 21 іюня. Кривая, представляющая годовыя измѣненія, болѣе приподнята въ первой половинѣ года, нежели во второй, и максимумъ бываетъ раньше 21 іюня, времени лѣтняго солнце-

*) «Variations annuelles de l'intensité de la radiation». Comptes Rendus t. LXXXII, 1876, p. 375.

стоянія. Въ теченіе іюля тепловое напряженіе ниже, нежели въ мартѣ и въ апрѣлѣ, не смотря на бóльшую высоту солнца въ іюлѣ. Въ сентябрѣ радіація почти такая же, какъ и въ концѣ февраля.

2. Радіація быстро возрастаетъ съ начала января до начала мая, достигая максимума. Наиболѣе сильныя напряженія съ конца марта до начала мая; лѣтомъ напряженіе быстро уменьшается.

3. Въ теченіе 1875 года замѣчается четыре періода: Первый, отъ конца марта до начала мая, совпадаетъ съ пробужденіемъ растительной жизни.

Второй, съ 5 по 20 мая, характеризуется быстрымъ ослабленіемъ солнечнаго напряженія; онъ соотвѣтствуетъ извѣстному періоду холодовъ въ первой половинѣ мая.

Третій, въ началѣ сентября, соотвѣтствуетъ очень слабой солнечной радіаціи, не смотря на то, что во время наблюденій небо было большею частью чистое. Нужно при этомъ замѣтить, что наблюденія предшествовали ливнямъ съ 11 по 14 сентября, которые причинили громадные убытки въ департаментѣ Hérault.

Четвертый періодъ, отъ 5 до 25 октября, характеризуется значительнымъ увеличеніемъ солнечнаго напряженія, которое въ продолженіе этого періода было выше средней мѣсячной за май.

Что же касается направленія вѣтра, то при сѣверныхъ, сѣверо-восточныхъ и сѣверо-западныхъ вѣтрахъ, усиливающихъ сухость воздуха, напряженіе радіаціи сильнѣе, нежели при южныхъ и юго-западныхъ.

. Сравнивая свои наблюденія съ результатами Дезена *), Крова находитъ, что тепловое напряженіе вообще слабѣе въ Парижѣ, нежели въ Монпелье, если исключить наблюденія 22 іюня 1874 года, которыя дали для Парижа 1.29 калоріи. Причину такого значительнаго пониженія радіаціи въ Парижѣ

*) Comptes Rendus 1875, t. LXXX, p. 1420.

Крова видитъ въ сильномъ поглощеніи лучей водяными парами, а также дымомъ и пылью, присущими большимъ городамъ.

Наконецъ Крова обращаетъ вниманіе на то обстоятельство, что измѣненія коэффиціента прозрачности съ увеличеніемъ толщины атмосферы находятся въ связи съ измѣненіемъ состава солнечной радіаціи. Числовые коэффиціенты въ уравненіи подкасательной:

$$S=c+mx$$

могутъ служить характеристикою послѣднихъ измѣненій.

Чѣмъ менѣе значенія m, тѣмъ кривыя теплового напряженія болѣе растянуты и тѣмъ болѣе приближаются къ логариѳмическимъ, какъ видно изъ наблюденій Пулье.

28 іюня	1837 г.		$S=2.8+0.2x$
27 іюля	»		$S=2.0+0.7x$
22 сент.	1837 г.		$S=2.1+0.6x$
4 мая	1838 г.		$S=3.4+0.2x$
11 мая	»		$S=2.1+0.9x$.

Напротивъ, въ кривыхъ, представляющихъ наблюденія Крова, подкасательныя измѣняются быстрѣе, при чемъ сравнительно бóльшія величины m служатъ доказательствомъ болѣе значительныхъ измѣненій коэффиціента прозрачности, а слѣдовательно и состава радіаціи. Эта особенность, равно какъ и сравнительно высокое напряженіе измѣряемой въ Монпелье радіаціи, есть слѣдствіе большей прозрачности атмосферы въ Монпелье, нежели въ Парижѣ.

§ 19. *Наблюденія въ 1876 году.* Въ 1876 году Крова производилъ наблюденія при помощи актинометра, наполненнаго спиртомъ, въ Jardin de Plantes, и кромѣ того 11-го іюля на берегу моря у Palavas.

Эти наблюденія подтвердили многіе выводы, сдѣланные Крова въ 1875 году.

Наиболѣе высокія тепловыя напряженія найдены были въ январѣ и сравнительно слабыя—въ іюлѣ.

Самое же сильное напряженіе, достигающее 1.40 калоріи, найдено было въ мартѣ.

Періоды, намѣченные Крова въ 1875 году, обнаружились и въ 1876, а именно:

1. Во второй половинѣ марта радіація достигала наибольшей силы.

2. Напряженіе значительно уменьшилось въ маѣ, іюнѣ и въ іюлѣ.

3. Хотя дожди въ сентябрѣ оказали вліяніе на пониженіе радіаціи, однако не въ такой степени, какъ въ предыдущемъ году.

Въ октябрѣ наблюденія не были сдѣланы, такъ что данныхъ для остальной части года не имѣется.

Относительно направленія вѣтра Крова нашелъ, что слабыя напряженія всегда сопровождаются вѣтрами S, SE, наиболѣе же сильныя—вѣтрами N, NE и NNE.

Наиболѣе правильныя наблюденія получились 4-го января и 11 іюля 1876 года

Взвѣсивъ площади часовыхъ кривыхъ для 4 января и 11 іюля, Крова опредѣлилъ количество всей теплоты, полученной 1 квадратнымъ сантиметромъ въ теченіе каждаго изъ этихъ дней.

Крова построилъ также кривыя, представляющія вертикальныя слагающія солнечнаго напряженія въ эти дни, т. е. количество теплоты, получаемой горизонтальною поверхностью.

Площади этихъ кривыхъ также найдены были способомъ взвѣшиванія. Получились слѣдующіе результаты:

	Продолж. дня.	Норм. силы.	Вертикальн. силы.
4 января....	9 часовъ	535.0	161.2
11 іюля	15 »	876.4	574.1
Отношеніе....		0.610	0.281.

Максимумъ солнечнаго напряженія 4-го января былъ 1.29 калоріи въ минуту и 11 іюля 1.21 калоріи.

Крова подробно описываетъ наблюденія 11 іюля у Palavas, на берегу моря. День былъ прекрасный. До восхода солнца небо было совершенно чисто, и только на югѣ образовались легкіе cirri, которые совершенно исчезли къ 8 часамъ утра. Море было очень спокойно, безъ всякаго признака миража въ теченіе цѣлаго дня.

Наблюденія велись при помощи двухъ актинометровъ, которые наканунѣ были тщательно свѣрены, чтобы установить точное отношеніе ихъ показаній. Одинъ изъ нихъ былъ наблюдаемъ непосредственно, а другой содержалъ въ себѣ ванну съ дистиллированною водою, въ 0.01 метра толщины. Наблюденія по возможности производились одновременно.

§ 20. *Наблюденія въ 1877 году.* Въ 1877 году наблюденія Крова имѣли главною своею цѣлью измѣреніе солнечной радіаціи въ полдень, а также опредѣленіе коэффиціента прохожденія лучей черезъ слой воды, толщиною въ 0.01 метра.

Соре нашелъ, что при одинаковой прозрачности воздуха, солнечные лучи проходятъ черезъ водяной слой тѣмъ въ большей степени, чѣмъ значительнѣе количество водяныхъ паровъ въ атмосферѣ *).

Въ опытахъ Дезена коэффиціентъ прохожденія лучей черезъ водяной слой въ полдень колебался между 0.63 и 0.71. Наиболѣе слабыя колебанія замѣчались при крайней сухости воздуха; особенно сильныя были въ тѣхъ случаяхъ, когда, не смотря на незначительную толщину проходимой атмосферы, высокая температура обусловливала значительное содержаніе водяного пара въ воздухѣ.

Нужно замѣтить, что водяной паръ не вполнѣ безцвѣтенъ, такъ какъ теллурическія линіи, которыя обусловливаются поглощеніемъ лучей парами, наиболѣе замѣтны въ оранжевомъ, красномъ и желтомъ цвѣтахъ.

---

*) См. стр. 42, часть II.

Наблюденія, сдѣланныя Крова въ различное время года, подтвердили выводы Дезена.

Дезенъ *) нашелъ огромную разницу между поглощеніемъ водянымъ слоемъ солнечныхъ лучей и лучей слабыхъ источниковъ.

По его изслѣдованіямъ, въ солнечномъ спектрѣ, полученномъ помощью призмы и чечевицы изъ каменной соли, теплота въ свѣтовой части спектра составляетъ почти третью часть всей теплоты; между тѣмъ въ спектрѣ раскаленной до-бѣла платины свѣтлая часть весьма не значительна, и слой воды, поставленный на пути такихъ лучей, въ сильной степени поглощаетъ темную часть этого спектра. Въ спектрѣ электрическаго свѣта свѣтлая теплота составляетъ почти шестую часть всей теплоты; между тѣмъ этотъ же самый свѣтъ, прошедшій черезъ слой воды, толщиною въ 0.03—0.04 метра, все-таки значительно теряетъ темную теплоту, безъ измѣненія свѣтлой, которая, послѣ прохожденія черезъ водяной слой, почти какъ и въ солнечномъ спектрѣ, составляетъ около $^1/_3$ всей теплоты. Однако послѣдній спектръ тѣмъ отличается отъ солнечнаго свѣта, что онъ менѣе растянутъ, въ особенности въ фіолетовой части.

Такимъ образомъ опыты Дезена между прочимъ представляютъ интересъ въ томъ отношеніи, что даютъ нѣкоторое понятіе о температурѣ солнца. Въ самомъ дѣлѣ, чѣмъ температура свѣтового источника ниже, тѣмъ болѣе въ немъ преобладаютъ лучи съ длинными волнами, и такъ какъ эти послѣдніе наиболѣе поглощаются водою, то процентное содержаніе лучей свѣтового источника, проходящихъ черезъ водяной слой, должно быть тѣмъ меньше, чѣмъ ниже температура источника. Такимъ образомъ свѣтъ электрической лампы имѣетъ температуру ниже солнечной.

---

*) Comptes Rendus 1877, t. LXXIV.

По выводамъ Дезена, водяной паръ, содержащійся въ колоннѣ воздуха такой же высоты, какъ земная атмосфера, образовалъ бы при своемъ сгущеніи слой воды въ 0.04 метра толщиною.

«Тогда понятно», говоритъ Крова, «почему слой воды въ 0.01 метра оказываетъ на солнечную радіацію дополнительное дѣйствіе, которое измѣняется слишкомъ мало съ толщиною атмосферы. При моихъ наблюденіяхъ въ Palavas толщина атмосферы, измѣняясь отъ 1 до 7 въ теченіе дня, представляла поглощеніе, равное тому, какое произвелъ бы слой воды въ 0.04—0.28 м.; прибавленіе 0.01 м. воды произведетъ тѣмъ меньшее дѣйствіе, чѣмъ толще пройденный уже слой атмосферной воды. Этотъ выводъ согласуется съ результатами моихъ наблюденій».

§ 21. *Показанія регистрирующаго актинометра.* Во время своихъ наблюденій Крова нерѣдко замѣчалъ, что напряженіе лучей иногда въ значительной степени измѣняется въ теченіе короткаго промежутка времени, даже при совершенно чистомъ небѣ.

Для опредѣленія такихъ варіацій Крова устроилъ описанный уже нами регистрирующій актинометръ *).

Первыя кривыя получены были въ маѣ 1885 года **). Эти кривыя показали Крова, что даже въ ясные, лѣтніе дни солнечная радіація подвержена непрерывнымъ колебаніямъ, амплитуды которыхъ весьма часто довольно значительны.

Чтобы выразить показанія регистрирующаго актинометра въ абсолютныхъ единицахъ, необходимо знать величину ординаты, соотвѣтствующей одной калоріи.

Для этого достаточно сдѣлать абсолютное опредѣленіе помощью актинометра, градуированнаго въ калоріяхъ, и провести на кривой соотвѣтствующую ординату.

---

*) См. стр. 192, часть I.

*) «Sur l'enregistrement de l'intensité calorifique de la radiation solaire». Ann. de chimie et de physique 1888, 6 série, t. XIV, p. 121.

Если передъ вертикальною щелью регистрирующаго прибора поставить на одно мгновеніе зажженную свѣчу, то на фотографической бумагѣ будетъ такимъ образомъ отмѣчено время этого наблюденія. Лучше всего дѣлать такія абсолютныя измѣренія утромъ, до начала значительныхъ колебаній въ кривой. Для большей точности можно сдѣлать въ теченіе дня нѣсколько такихъ абсолютныхъ измѣреній.

Полученныя на фотографической бумагѣ кривыя обыкновенно показываютъ быстрое увеличеніе радіаціи съ восходомъ солнца; но лишь только, съ возвышеніемъ температуры воздуха, начинаетъ нагрѣваться почва, колебанія въ напряженіи дѣлаются болѣе значительными, при чемъ радіація достигаетъ своего максимума между $10^1/_2$ и $11^1/_2$ часами. Къ полудню обыкновенно наблюдается депрессія. Далѣе кривая опять поднимается, потомъ начинаетъ опускаться, сначала медленно, а потомъ быстрѣе, по мѣрѣ приближенія солнца къ заходу. Вообще кривыя не симметричны относительно полуденной ординаты.

Утромъ кривыя правильнѣе, ординаты больше, а колебанія меньше, нежели около полудня. Наиболѣе правильныя кривыя получаются зимою, а также въ началѣ весны или въ концѣ осени. Для Монпелье наиболѣе благопріятными условіями служатъ: низкая температура, утренній иней, умѣренный сѣверо-западный вѣтеръ, и чистое небо.

Особенно неблагопріятнымъ для правильнаго хода кривыхъ является тонкій, бѣловатый покровъ; напротивъ, темноголубое небо, съ небольшими кучевыми облаками, рѣзко очерченной формы, обусловливаетъ наилучшіе результаты.

Въ теченіе 1885 года Крова*) получилъ 68 кривыхъ, въ 1886 году—206 и въ 1887 г.—166 кривыхъ.

*) Crova: «Etude de l'intensité calorifique de la radiation solaire au moyen de l'actinomètre enrègistreur». Ann. de chimie et physique, 6 série, t. XIV, 1888, p. 541.

Приведемъ главнѣйшіе результаты изслѣдованія этихъ 440 кривыхъ.

Сперва разсмотримъ дневныя и случайныя измѣненія солнечной радіаціи.

Если бы атмосфера наша состояла изъ концентрическихъ однородныхъ слоевъ, то кривыя, воспроизводимыя регистрирующимъ приборомъ, быстро поднимались бы съ солнечнымъ восходомъ, показывали бы максимумъ напряженія въ истинный полдень и, оставаясь вполнѣ симметричными относительно ординаты въ этотъ моментъ, постепенно опускались бы къ солнечному закату.

На самомъ же дѣлѣ всѣ эти кривыя обыкновенно не симметричны и обнаруживаютъ постоянныя колебанія въ солнечномъ напряженіи, такъ что можно положительно утверждать, что стрѣлка гальванометра никогда не бываетъ въ покоѣ.

Дѣйствительно, изъ 206 кривыхъ, полученныхъ въ 1886 г., только 8 были приблизительно симметричны; въ 1885 и 1887 гг. ихъ было еще меньше *).

Въ тихіе, теплые лѣтніе дни въ Монпелье, при значительной влажности, колебанія иногда настолько бываютъ часты, что, смѣшиваясь, придаютъ нѣкоторымъ частямъ кривой значительную толщину (кривыя въ такихъ мѣстахъ кажутся какъ бы затушеванными).

Такія колебанія, по мнѣнію Крова, зависятъ отъ поднятія водяного пара въ верхніе слои атмосферы, а также отъ вліянія морскихъ бризовъ **). Въ лѣтнюю пору колебанія обыкновенно начинаютъ усиливаться къ 9 часамъ утра. Достигнувъ максимума, кривая начинаетъ быстро понижаться, такъ что для одной и той же высоты солнца напряженіе лучей послѣ полудня ниже, нежели утромъ.

---

*) Comptes Rendus t. CI. 1885, p. 418.

**) «Было бы», говоритъ Крова, «очень интересно получить подобныя кривыя на станціяхъ, очень удаленныхъ отъ моря; онѣ должны быть болѣе правильны».

Зимою, какъ мы уже говорили, кривыя вообще правильнѣе, такъ что приближаются къ симметріи, особенно при холодныхъ и сильныхъ вѣтрахъ.

Въ лѣтнюю пору, напротивъ, съ восходомъ солнца охлажденная ночнымъ лучеиспусканіемъ почва быстро начинаетъ нагрѣваться. Въ это время ходъ кривой еще довольно правильный; но мало по малу усиливается испареніе воды, на поверхности почвы. Поднявшійся паръ сначала не достаточенъ для образованія видимыхъ облаковъ, а только придаетъ голубому цвѣту неба сѣроватый оттѣнокъ. Этотъ моментъ соотвѣтствуетъ полуденной депрессіи. Между тѣмъ почва продолжаетъ нагрѣваться, и поднимающійся теплый, уже сухой воздухъ разсѣиваетъ сѣроватый покровъ. Радіація усиливается, хотя продолжаетъ испытывать колебанія, вслѣдствіе смѣшиванія сухихъ и влажныхъ массъ воздуха, которыя безпрестанно проходятъ передъ солнечнымъ дискомъ.

Разсмотрѣніе кривыхъ регистрирующаго актинометра привело Крова къ слѣдующимъ выводамъ:

1. Въ Монпелье невозможно насчитать и одной правильной кривой въ теченіе лѣта; наилучшія получаются осенью, зимою или въ началѣ весны.

Изъ 206 кривыхъ въ 1886 году наиболѣе симметричныя получены 8 и 11 марта, 9 сентября, 22, 23, 24 и 26 ноября, т. е. 3.4 на 100 кривыхъ, или 1.9 на 100 дней.

2. Лѣтомъ въ теченіе дня колебанія очень сильны, при чемъ замѣчается два максимума: до и послѣ полудня *).

3. Осенью колебанія уменьшаются, и оба максимума приближаются къ полудню.

4. Уменьшеніе амплитуды колебаній еще болѣе замѣчается зимою, при чемъ оба максимума стремятся къ соединенію; тоже самое замѣчается въ началѣ весны.

---

*) «Observations faites a Montpellier avec actinomètre enrégistreur». Comptes Rendus t. CII, 1886, avril. p. 511.

Такъ какъ часовыя кривыя солнечнаго напряженія испытываютъ непрерывныя колебанія, то опредѣленіе ихъ квадратуры весьма затруднительно. Крова въ этомъ случаѣ поступаетъ слѣдующимъ образомъ. Принимая во вниманіе, что всѣ пертурбаціонныя дѣйствія стремятся уменьшить солнечное напряженіе, Крова разсматриваетъ депрессіи, какъ случайныя измѣненія, безъ которыхъ кривая имѣла бы правильную форму, проходя черезъ наиболѣе выдающіяся точки, соотвѣтствующія максимумамъ напряженія. Но такъ какъ атмосферное поглощеніе, вслѣдствіе увеличенія количества водяного пара, сильнѣе во вторую часть дня, нежели въ первую, то Крова принимаетъ во вниманіе только первую половину кривой. Весьма важно при этомъ точно опредѣлить ось временъ, т. е. прямую, отъ которой отсчитываются ординаты часовой кривой.

Опредѣленіе этой прямой необходимо возобновлять отъ времени до времени, такъ какъ эта линія подвержена легкимъ перемѣщеніямъ, вслѣдствіе магнитныхъ варіацій. По этой же причинѣ слѣдуетъ по возможности часто повторять опредѣленіе длины ординаты, соотвѣтствующей одной калоріи. Въ кривыхъ Крова ордината, соотвѣтствующая одной калоріи, измѣнялась отъ 55 до 65 мм., смотря по времени года.

Горизонтальная ось раздѣляется на часы истиннаго солнечнаго времени, при чемъ часъ восхода берется изъ таблицъ Annuaire du Bureau des Longitudes, съ поправкою на широту мѣста наблюденія. Для контроля служитъ сама кривая, такъ какъ времени солнечнаго восхода соотвѣтствуетъ почти вертикальное поднятіе кривой. Что же касается времени солнечнаго захода, то оно не можетъ быть опредѣлено съ такою же точностью кривою; даже въ наиболѣе благопріятные дни кривая, вмѣсто того, чтобы падать на ось вертикально, испытываетъ различные уклоны, вслѣдствіе поглощенія лучей водяными парами, содержащимися въ атмосферѣ. Ординаты, соотвѣтствую-

щія различнымъ часамъ, измѣряются въ миллиметрахъ, а потомъ переводятся въ калоріи.

Вслѣдъ затѣмъ часовая кривая переводится въ другую, дающую тепловое напряженіе лучей солнца въ зависимости отъ толщины проходимой атмосферы.

Послѣдняя кривая, а также опредѣляемые по ней коэффиціенты прозрачности атмосферы и солнечная постоянная, конечно, измѣняются съ выборомъ формулы для вычисленія атмосферныхъ массъ.

Какъ и прежде, Крова пользуется формулою Лапласа, причемъ для вычисленія солнечной постоянной примѣняетъ раньше выведенную имъ гиперболическую формулу *).

«Гиперболическая формула, которою я пользовался», говоритъ Крова, «мнѣ кажется, выражаетъ точно полученные результаты; она имѣетъ ту выгоду, что не зависитъ отъ гипотезы, болѣе или менѣе правдоподобной, а согласуется съ чисто-экспериментальнымъ фактомъ, что коэффиціенты прозрачности не постоянны, но измѣняются съ толщиною пройденной атмосферы».

Что касается солнечной постоянной, то ей должна соотвѣтствовать начальная ордината; но послѣдняя, конечно, не можетъ быть найдена съ достаточною точностью, такъ какъ ея опредѣленіе основано на неизвѣстной экстраполяціи.

Опредѣленіе солнечной постоянной съ извѣстнымъ приближеніемъ потребовало бы цѣлыхъ рядовъ постоянныхъ наблюденій на довольно значительныхъ высотахъ, чтобы возможно было, при минимальныхъ толщинахъ атмосферы, продолжить кривую до точекъ, наиболѣе приближающихся къ начальной ординатѣ.

Найденныя Крова по гиперболической формулѣ значенія для солнечной постоянной оказались весьма различными; наибольшее значеніе 2.703 калоріи соотвѣтствуетъ 23 ноября 1886 года.

---

*) См. стр. 231, часть I.

§ 22. *Актинометрическія наблюденія въ 1888 году.* Наблюденія производились около полудня Гудайлемъ и Мазадомъ *). Регистрирующій актинометръ далъ въ этомъ году 108 кривыхъ.

Эти наблюденія подтвердили общіе выводы Крова: времена максимумовъ и минимумовъ нѣсколько измѣняются съ метеорологическими условіями, но главный годовой максимумъ солнечнаго напряженія всегда бываетъ весною; къ лѣту радіація уменьшается, а къ осени вновь поднимается, образуя второстепенный максимумъ.

Въ томъ же 1888 году Крова вмѣстѣ съ Гудайлемъ **) произвели рядъ наблюденій на горѣ Ванту и въ сосѣдней долинѣ, съ цѣлью изслѣдовать, таковъ ли суточный ходъ солнечнаго напряженія на горѣ, какъ на равнинѣ, и не представляетъ ли опредѣленіе солнечной постоянной изъ горныхъ наблюденій особыхъ выгодъ?

Наблюденія на вершинѣ горы (1907 м.) производились вблизи геологической обсерваторіи, служащей для опредѣленія свойства почвы, которая быстро освобождается отъ влаги и по своей сухости чрезвычайно благопріятствуетъ этимъ наблюденіямъ.

Отъ 29 іюля до 12 сентября 1888 года приборъ функціонировалъ безъ всякихъ измѣненій; только во время дождя актинометръ защищался жестяною ширмою.

За этотъ періодъ получено было 30 кривыхъ, изъ которыхъ 8 довольно правильныхъ. Этими послѣдними и воспользовался Крова для вычисленій.

Непосредственныя измѣренія радіаціи при помощи актинометра Крова служили для контроля регистрирующаго прибора.

---

*) Crova: «Observations actinometriques faites en 1888 à l'observatoire de Montpellier». Comptes Rendus 1889 mars, p. 482.

**) Crova et Houdaille: «Observations faites au sommet du mont Ventoux, sur l'intensité calorifique de la radiation solaire». Comptes Rendus 1889, janvier, p. 35.

Въ тоже время произведены были правильныя наблюденія надъ поляризаціею разсѣяннаго свѣта, помощью поляриметра Корню; для спектральнаго же анализа голубого свѣта небеснаго свода служилъ соотвѣтственно видоизмѣненный спектро-фотометръ Крова.

Хотя лѣто 1888 года было необыкновенно холодное и дождливое, тѣмъ не менѣе получены были важные результаты, которые интересно сравнить съ наблюденіями въ Монпелье.

1. Извѣстныя колебанія въ кривыхъ солнечнаго напряженія, найденныя въ Монпелье, обнаружились и на Ванту, но только съ меньшею амплитудою и неодновременно съ первыми.

Послѣднее обстоятельство объясняется различіемъ топографическихъ условій.

2. Пониженіе, почти правильно наблюдаемое въ полдень въ Монпелье, замѣчается и на Ванту; происходитъ оно, очевидно, вслѣдствіе вертикальнаго поднятія водяного пара, а не отъ вліянія близости моря.

Кривыя вычислялись при помощи тѣхъ же самыхъ формулъ, какія раньше примѣнялъ Крова. Толщина воздушнаго слоя опредѣлялась по формулѣ Лапласа, при чемъ за единицу принята длина луча, считая по вертикальному направленію отъ границъ атмосферы до уровня моря.

Разности между наблюденіями и вычисленіями обнаружились въ тысячныхъ доляхъ калорій.

Для вычисленія солнечной постоянной и теплопрозрачности воздуха служили извѣстныя уже намъ формулы:

$$y = \frac{Q}{(1+x)^q}, \quad p = e^{-\frac{q}{1+x}}, \quad p_0 = e^{-q},$$

гдѣ y напряженіе лучей послѣ прохожденія черезъ слой, толщиною x, p прозрачность въ мѣстѣ наблюденія и p_0—начальное значеніе p для $x=0$.

Наблюденія на горѣ Ванту приводятъ къ слѣдующимъ выводамъ:

1. Солнечная постоянная, по наблюденіямъ на высотѣ 1900 метровъ, почти равна 3 калоріямъ, т. е. получены тѣже результаты, какъ и при замѣчательныхъ изслѣдованіяхъ Лангле.

Крова полагаетъ, что методъ регистрированія, примѣненный къ измѣренію солнечной радіаціи на значительныхъ высотахъ, вѣроятно далъ бы для солнечной постоянной значенія, превышающія три калоріи.

2. Поляризація неба обыкновенно тѣмъ значительнѣе, чѣмъ меньше прозрачность атмосферы. Въ этомъ отношеніи степень поляризаціи можетъ дать полезныя указанія относительно теплопрозрачности воздуха.

3. Существуетъ извѣстная зависимость между варіаціями голубого цвѣта неба и тепловымъ напряженіемъ солнечныхъ лучей. Наблюдаемое въ полдень ослабленіе въ голубомъ оттѣнкѣ цвѣта неба соотвѣтствуетъ въ этотъ часъ тепловой депрессіи солнечной радіаціи, которая, какъ и голубой цвѣтъ неба, имѣетъ до полудня большее напряженіе, нежели пополудни *).

ГЛАВА X.

Изслѣдованія Лангле.

§ 23. *Предварительныя наблюденія на Аллеганахъ въ 1880 и 1881 г.* Вопросъ относительно поглощенія солнечныхъ лучей земною атмосферою, по мнѣнію Лангле, можетъ быть рѣшенъ только суммированіемъ частныхъ поглощеній, испытываемыхъ элементарными лучами. Для точнаго же изслѣдованія теплового напряженія лучей различной преломляемости призматическіе спектры не представляютъ большихъ удобствъ, такъ

*) Crova: «Sur l'analise de la lumière diffusée par le ciel». Comptes Rendus 1889, septembre, p. 493.

какъ съ веществомъ призмы измѣняется и распредѣленіе тепловой энергіи въ различныхъ частяхъ получаемаго спектра.

Напротивъ, спектръ, образованный отражающею рѣшеткою, почти свободенъ отъ поглощенія, и можетъ считаться строго нормальнымъ.

Еще Джонъ Дреперъ полагалъ, что въ нормальномъ спектрѣ тепловой максимумъ долженъ находиться въ оранжевомъ цвѣтѣ; но онъ не могъ это подтвердить путемъ опыта, такъ какъ при помощи даже наиболѣе чувствительныхъ термоэлектрическихъ приборовъ чрезвычайно трудно изолировать и измѣрить слабую теплоту отдѣльныхъ полосъ диффракціоннаго спектра.

Такимъ образомъ до Лангле измѣренія тепловой энергіи возможны были не иначе, какъ только въ цѣлыхъ группахъ полосъ диффракціоннаго спектра; эти же изслѣдованія, конечно, не могутъ имѣть такого научнаго интереса, какъ опредѣленіе тепловой энергіи для каждой длины волны.

Но теплота спектра диффракціи въ среднемъ не составляетъ и десятой доли теплоты призматическаго спектра.

Поэтому необходимо было устроить приборъ, отличающійся гораздо большею чувствительностью, нежели термоэлектрическій столбикъ, который могъ бы служить не только указателемъ, но и точнымъ измѣрителемъ слабой радіаціи.

Эту трудную задачу Лангле выполнилъ при помощи описаннаго уже нами своего болометра.

Почти весь 1880 годъ былъ употребленъ Лангле на видоизмѣненія болометра, для лучшаго его примѣненія, и на предварительныя изслѣдованія, которыя обѣщали дать важные результаты *).

Первыя удачныя измѣренія произведены были Лангле 7 октября 1880 года.

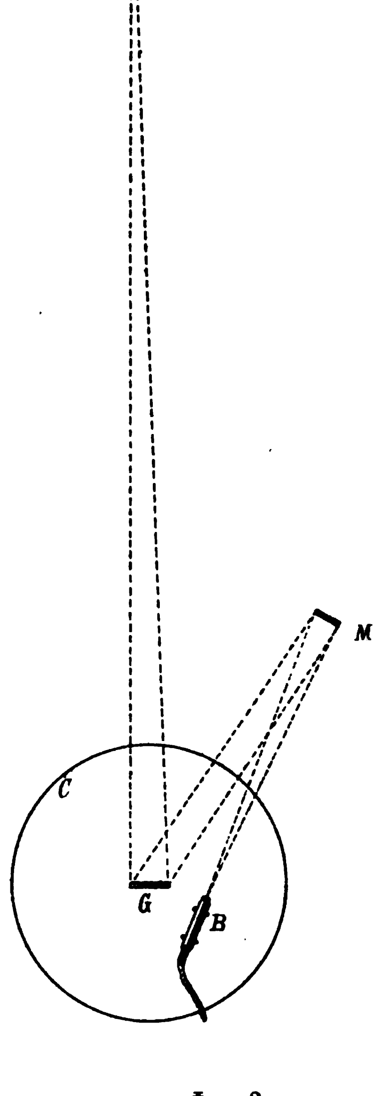
---

*) S. P. Langley: «Researches on solar heat and its absorption by the earth's atmosphere». Chapter I. «Absorption sélective de l'énergie solaire». Ann. de chimie et de physique, 5 série, t. XXXIX, p. 500.

Эти изслѣдованія были чревычайно затруднительны, такъ какъ тепловое напряженіе въ диффракціонномъ спектрѣ само по себѣ не значительно, а между тѣмъ при измѣреніяхъ необходимо было ограничиваться настолько узкими полосами спектра, чтобы можно было считать ихъ однородными.

Трудность измѣреній увеличивалась еще вслѣдствіе того, что диффракціонные спектры вообще бываютъ отчасти наложенными другъ на друга.

При первыхъ своихъ измѣреніяхъ Лангле пользовался двумя металлическими рѣшетками Рутерфорда, изъ которыхъ одна заключала 681, а другая 340 штриховъ на 1 миллиметръ. За единицу длины при измѣреніи волнъ принималась $\frac{1}{1000}$ миллиметра (μ), такъ что для фраунгоферовой линіи A по Ангштрему длина волны равна 0.76 μ.



Фиг. 2.

Въ опытахъ Лангле солнечные лучи, воспринятые серебряною поверхностью геліостата, проходили черезъ узкую щель S и падали на рѣшетку G, поставленную передъ этимъ отверстіемъ на разстояніи пяти метровъ. Тогда передъ пластинкою получался диффракціонный спектръ, лучи котораго, падая на вогнутое зеркало M, съ главнымъ фокуснымъ разстояніемъ въ одинъ метръ, отражались въ трубу болометра B, гдѣ и давали изображеніе спектра.

Нить болометра устанавливалась параллельно фраунгоферовымъ линіямъ, такъ что при перемѣщеніяхъ ея вдоль спектра, замѣчалось, по отклоненію стрѣлки гальванометра, пониженіе температуры, когда нить совпадала съ какою либо изъ темныхъ линій. Приборъ былъ одинаково чувствителенъ какъ къ свѣтлой, такъ и къ темной радіаціи.

Такимъ образомъ лучи, падающіе на рѣшетку, на пути своемъ, кромѣ земной атмосферы, не встрѣчали другой какой либо поглощающей средины. Кромѣ того, между рѣшеткою и болометромъ не было никакого экрана, такъ какъ температура послѣдняго, хотя бы только на нѣкоторое время поставленнаго и потомъ удаленнаго, могла повліять на показанія прибора.

Во время наблюденій плоскость рѣшетки оставалась всегда перпендикулярною къ линіи, соединяющей ея центръ со щелью, а положеніе болометра оставалось неизмѣннымъ относительно вогнутаго зеркала *).

Угловое отклоненіе испытуемаго луча опредѣлялось по дѣленіямъ круга, на которомъ двигалась линейка, перемѣщающая болометръ и зеркало.

Измѣреніе отклоненій луча давало возможность опредѣлить длину волны по слѣдующей формулѣ:

$$ns\lambda = \sin i + \sin r,$$ въ которой

n—означаетъ порядокъ спектра,

s—разстояніе между штрихами рѣшетки,

*) При наблюденіяхъ принималось во вниманіе поглощеніе энергіи металлическою поверхностью зеркала.

λ—длину волны изслѣдуемаго луча,

i—уголъ паденія луча, равный въ данномъ случаѣ 0°,

r—уголъ диффракціи.

Лучи второго диффракціоннаго спектра вообще должны совпадать съ лучами перваго спектра, имѣющими длину волны въ два раза большую, а такъ какъ въ ультра-фіолетовой части спектра всякій слѣдъ солнечной радіаціи теряется съ длиною волны $\lambda = 0.3\,\mu$, то значитъ, измѣренія тепловой энергіи въ первомъ спектрѣ, могутъ быть продолжены до $\lambda = 0.6\,\mu$.

Въ опытахъ Лангле эти измѣренія тѣмъ болѣе могли быть надежными, что при употребляемыхъ рѣшеткахъ второй спектръ вообще былъ очень слабъ.

Точно также вблизи лучей $\lambda = 0.7\,\mu$ въ первомъ спектрѣ находятся лучи второго спектра, для которыхъ $\lambda = 0.35\,\mu$; тепловая энергія послѣднихъ лучей все еще весьма не значительна. Наконецъ лучи съ длиною волны $\lambda = 0.5\,\mu$ второго спектра совпадаютъ съ лучами перваго спектра, для которыхъ $\lambda = 1.0\,\mu$. Это былъ крайній предѣлъ болометрическихъ измѣреній Лангле въ инфра - красной части солнечнаго спектра.

До Лангле физики не знали точныхъ предѣловъ нормальнаго солнечнаго спектра, хотя Тиндалль и высказывалъ предположеніе о значительномъ протяженіи инфра-красной его части. При помощи тѣхъ рѣшетокъ, какими сперва пользовался Лангле, также невозможно было точно опредѣлить границы инфра-красной части спектра, и только два года спустя ему удалось обнаружить присутствіе солнечной теплоты на такомъ разстояніи отъ черты A, гдѣ длина волны въ четыре раза больше, т. е. доходитъ до $3\,\mu$.

Главнѣйшею задачею Лангле составляло опредѣленіе избирательнаго поглощенія элементарныхъ лучей земною атмосферою. Предварительныя измѣренія производились Лангле на

Аллеганахъ въ 1880 и 1881 годахъ: въ полдень, когда лучи наименѣе поглощаются атмосферою, а также утромъ или вечеромъ. Рѣшеніе этой задачи усложнялось варіаціями въ солнечномъ напряженіи, наблюдаемыми даже при прохожденіи лучей черезъ одинаковыя массы воздуха. Измѣренія напряженія постояннаго источника теплоты показали, что эти варіаціи обусловливаются внѣшними причинами, а не зависятъ отъ прибора. Часто такія варіаціи слѣдовали быстро одна за другою и при ясномъ, повидимому, небѣ достигали величины въ 10 разъ большей, нежели возможныя ошибки прибора. Исключить ихъ можно было только при помощи большого числа наблюденій въ различные дни.

Такія наблюденія производились въ теченіе 29 дней; но вполнѣ надежными оказались лишь тѣ, которыя произведены были 28 января, 2 февраля, 17 февраля, 22 апрѣля, 23 апрѣля, 29 апрѣля, 30 апрѣля и 28 мая 1881 года.

Измѣряемое напряженіе элементарныхъ лучей Лангле выражалъ, на основаніи логариѳмическаго закона, при помощи формулы:

$$d = Et^{M\beta},$$

гдѣ d наблюдаемое отклоненіе гальванометра, β—высота барометра, t—коэффиціентъ теплопрозрачности для вертикально падающихъ лучей, при барометрическомъ давленіи въ 1—дециметръ, M—масса воздуха, опредѣляемая для зенитнаго разстоянія, большихъ 65^0, по формулѣ:

$$M = \frac{0.0174 \times \text{табличн. рефр.}}{\cos \text{видим. высот. солнца}}.$$

Комбинируя наблюденія одного и того же дня, при высокомъ и низкомъ стояніяхъ солнца, получимъ:

$$d' = Et^{M'\beta'} \text{ и } d'' = Et^{M''\beta''},$$

$$\text{откуда } \frac{d'}{d''} = t^{M'\beta' - M''\beta''},$$

$$\text{или } \log.\, t = \frac{\log.\, d'' - \log.\, d'}{M''\beta'' - M'\beta'}.$$

По этой формулѣ Лангле вычислилъ среднiе коэффицiенты прозрачности для элементарныхъ лучей при барометрическомъ давленiи въ 1 и 7.6 дециметровъ, какъ показываетъ приведенная таблица:

λ =	0.375	0.400	0.450	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	0.1000
t =	0.884	0.892	0.909	0.923	0.942	0.955	0.965	0.970	0.971
$t^{7,6}$ =	0.392	0.420	0.485	0.544	0.636	0.705	0.763	0.794	0.799.

Такимъ образомъ, вопреки принятому мнѣнiю, оказалось, что изъ всѣхъ лучей солнечнаго спектра наименѣе поглощаются при прохожденiи черезъ земную атмосферу инфра-красные лучи. Изъ трехъ родовъ лучей, которыхъ длина волнъ соотвѣтственно 0.375 μ, 0.600 μ и 1.000 μ, первые, въ ультрафiолетовой части спектра, теряютъ при прохожденiи черезъ атмосферу 61%, вторые, въ оранжевомъ цвѣтѣ, 36% и третьи, въ инфра-красной части спектра, всего только 20%.

Наблюденiя, произведенныя на Аллеганахъ весною 1881 года, послужили Лангле для опредѣленiя напряженiя однородныхъ лучей на границѣ атмосферы. Первоначальная энергiя лучей E опредѣлялась при помощи формулы:

$$\log. E = \log. d - M\beta \log. t \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1),$$

при чемъ коэффицiентамъ теплопрозрачности t придавались раньше найденныя среднiя значенiя, а величины d опредѣлялись наблюденiями при высокомъ (d′) и низкомъ (d″) стоянiяхъ солнца.

λ =	0.375	0.400	0.450	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	0.1000
E =	353	683	1031	1203	1083	849	519	316	309
d′ =	112	235	424	570	621	553	372	238	235
d″ =	27	63	140	225	311	324	246	167	167.

Фиг. 3.

Прилагаемый чертежъ показываетъ распредѣленіе въ нормальномъ спектрѣ солнечной энергіи на границѣ земной атмосферы, а также наблюдаемой на Аллеганахъ въ полдень и при закатѣ солнца.

Средняя кривая (I) соотвѣтствуетъ полудню. Площадь ея выражаетъ всю сумму тепла (до $\lambda = 1.000\,\mu$), измѣряемаго въ полдень актинометромъ. Наибольшая ея ордината въ оранжевомъ цвѣтѣ соотвѣтствуетъ $0.60\,\mu$.

Нижняя кривая (II) соотвѣтствуетъ солнечному закату. Ея площадь пропорціональна количеству энергіи, достигающей земной поверхности при прохожденіи лучами въ два раза большаго атмосфернаго слоя, нежели въ первомъ случаѣ.

Наибольшая ея ордината соотвѣтствуетъ $0.70\,\mu$ въ крайнемъ красномъ цвѣтѣ.

Верхняя пунктирная кривая («ультра-атмосферная») своею площадью выражаетъ солнечную постоянную. Наибольшая ея ордината лежитъ между $0.50\,\mu$ и $0.55\,\mu$ въ зеленомъ цвѣтѣ.

Если извѣстна въ калоріяхъ площадь средней кривой, то не трудно опредѣлить всю лучистую энергію, вступающую въ нашу атмосферу.

Въ мартѣ 1881 года Лангле, на основаніи полуденныхъ наблюденій, произведенныхъ на Аллеганахъ въ ясные дни помощью актинометровъ Віолля и Крова, принялъ для площади этой средней кривой 1.81 калоріи.

Но начерченныя кривыя на самомъ дѣлѣ должны быть продолжены, такъ какъ Лангле убѣдился, что солнечная энергія не теряется окончательно при $\lambda = 1.000\,\mu$. Принимая во вниманіе дальнѣйшее распространеніе солнечнаго спектра, Лангле вычислилъ дополнительныя площади и такимъ образомъ пришелъ къ слѣдующимъ выводамъ:

Площадь внѣшней кривой выше $\lambda = 1.000\,\mu$. .	47.17
» » » ниже $\lambda = 1.000\,\mu$. .	26.49
Вся площадь внѣшней кривой . .	73.66

Площадь средней кривой	выше $\lambda = 1.000\,\mu$..	26.96
» »	» ниже $\lambda = 1.000\,\mu$..	20.00
	Вся площадь средней кривой ..	46.96

$$\text{Отношеніе}\ \frac{\text{пл. внѣшн. кривой}}{\text{пл. средн. кривой}} = \frac{73.66}{46.96} = 1.569.$$

На основаніи этого вывода Лангле нашелъ для солнечной постоянной $1.81 \times 1.57 = 2.84$ калорій.

Такимъ образомъ предварительныя наблюденія Лангле показали, что максимумъ теплоты въ нормальномъ солнечномъ спектрѣ, при достиженіи лучами земной поверхности въ полдень, находится вблизи желтаго цвѣта, такъ что тепловой и свѣтовой максимумы почти совпадаютъ.

Сверхъ того наблюденія Лангле привели къ совершенно неожиданному выводу. Хотя давно уже было извѣстно поглощеніе атмосферою ультра-фіолетовыхъ и фіолетовыхъ лучей, но ученые всегда полагали, что это поглощеніе постепенно растетъ при переходѣ отъ свѣтовой части спектра къ инфра-красной; между тѣмъ оказалось, что атмосфера задерживаетъ въ большей степени свѣтовые лучи и въ особенности фіолетовые, нежели темные тепловые.

На основаніи этого можно предположить, что при отсутствіи земной атмосферы солнце казалось бы намъ голубоватымъ.

§ 24. *Экспедиція на гору Уитней.* Въ виду особой важности тѣхъ результатовъ, которые были найдены на Аллеганахъ, Лангле считалъ весьма полезнымъ провѣрить эти выводы посредствомъ наблюденій на значительной высотѣ. Съ этою цѣлью имъ предпринята была знаменитая экспедиція на гору Уитней (Whitney) въ іюлѣ 1881 года.

При выборѣ горы имѣлись въ виду слѣдующія необходимыя условія *):

*) Langley, Chapter II: «Journey to mount Whitney, 1881».

1. Наибольшая прозрачность воздуха.

2. Значительная высота.

3. Очень крутой подъемъ, такъ чтобы двѣ сосѣднія станціи могли находиться на весьма различныхъ высотахъ.

4. Близость мѣста наблюденія къ экватору.

5. Сухой климатъ.

1. Первое и пятое условія почти не раздѣльны. Такія вершины, какъ Пикъ-Пайксъ и сосѣдняя съ нею, рѣдко бываютъ свободны отъ тумановъ и облаковъ въ теченіе лѣта, и потому не удобны для наблюденій, при которыхъ требуется абсолютно чистое и безоблачное небо.

2. При измѣреніи солнечной радіаціи наблюдаемые пункты должны быть такъ выбраны, чтобы они были выше по крайней мѣрѣ одной трети всей атмосферы.

3. Возвышенное плато не удобно, такъ какъ почти необходимо, чтобы нижняя станція находилась приблизительно на одной вертикали съ верхнею.

4. Мѣсто наблюденій должно находиться вблизи экватора, чтобы можно было видѣть солнце въ зенитѣ.

Всѣ эти условія соединяетъ въ себѣ гора Уитней въ Сіерра-Невадѣ, въ южной Калифорніи, а потому выборъ Лангле палъ на эту гору.

Верхнею станціею избрана была площадка на самой горѣ, Mountain Camp., нижнею служила Lone Pine, на восточной сторонѣ подошвы Уитней.

Положеніе и высота каждой станціи были слѣдующія:

Mountain Camp.	118°19′ з. д. отъ Гр.,	36°34′ с. ш.,	3543 м.	высоты
Lone Pine....	118°4′ » »	36°36′ »	1146 »	»

Такимъ образомъ разность высотъ обѣихъ станцій равна была 2397 метрамъ.

Не станемъ распространяться о трудностяхъ подобной экспедиціи на отдаленную, высокую гору, расположенную въ пустынѣ.

На горѣ Уитней производились не только болометрическія наблюденія, но также и актинометрическія, при помощи приборовъ Пулье и Віолля.

Лангле сначала приводитъ результаты актинометрическихъ наблюденій, чтобы показать, какіе вообще возможны выводы при помощи наиболѣе извѣстныхъ актинометровъ.

Такъ въ главѣ IV, кромѣ вычисленія поправокъ, Лангле приводитъ результаты своихъ наблюденій помощью пиргеліометра Пулье.

Формула Пулье $C = Ea^{\frac{M\beta}{7.6}}$ даетъ:

$$a = \left(\frac{C_{\prime\prime}}{C_{\prime}}\right)^{\frac{7.6}{M_{\prime\prime}\beta_{\prime\prime} - M_{\prime}\beta_{\prime}}}, \quad E = \frac{C_{\prime}}{a^{\frac{M_{\prime}\beta_{\prime}}{7.6}}},$$

гдѣ $M_{\prime}$, $\beta_{\prime}$, $C_{\prime}$

относятся къ полуденнымъ наблюденіямъ и $M_{\prime\prime}$, $\beta_{\prime\prime}$, $C_{\prime\prime}$ — къ вечернимъ или утреннимъ, при чемъ C означаетъ найденное, послѣ поправокъ, напряженіе солнечныхъ лучей въ калоріяхъ.

При комбинированіи полуденныхъ наблюденій съ вечерними или утренними, произведенными въ августѣ на Lone Pine, получены были слѣдующіе результаты *):

	a		E
Числа.	Утро и полдень.	Вечеръ и полдень.	Полдень.
Августа 11		0.8567	1.841
» 12	0.8665	0.8993	1.634
» 13	0.8584		1.781
» 14	0.9005	0.8342	1.783.

Отсюда средній коэффиціентъ теплопрозрачности на Lone Pine, найденный по методу Пулье, равенъ 0.87, а по приведеніи къ уровню моря 0.80. Среднее значеніе для солнечной

*) Researches on solar heat: «Discussion of pyrheliometer observations», p. 65.

постоянной по этимъ наблюденіямъ 1.760 очень близко подходитъ къ результату Пулье 1.7633.

Наблюденія же на Mountain Camp дали слѣдующія значенія для a и E:

	a		E
Числа.	Утро и полдень.	Вечеръ и полдень.	Полдень.
Августа 29	0.4854	0.8588	2.226
» 30	0.7995	0.9345	1.772
» 31	0.6543	0.8409	2.049
Сентября 1	0.8379	0.8539	2.068.

Изъ этихъ наблюденій для солнечной постоянной получается большее значеніе 2.029, а для средней прозрачности почти тоже самое 0.872.

Далѣе Лангле разсматриваетъ результаты наблюденій, произведенныхъ имъ помощью актинометра Віолля *) 23 и 25 августа.

Для вычисленія солнечной постоянной и коэффиціента теплопрозрачности онъ пользуется тремя различными комбинаціями наблюденій:

1. При высокомъ и низкомъ стояніяхъ солнца въ Lone Pine.
2. При высокомъ и низкомъ стояніяхъ солнца на Mountain Camp.
3. Комбинаціей одновременныхъ наблюденій на верхней и нижней станціяхъ.

При помощи такихъ комбинацій Лангле получилъ слѣдующія среднія значенія изъ всѣхъ наблюденій 23 и 25 августа:

	a	E
Lone Pine	0.8620 ..	2.019
Mountain Camp	0.8623 ..	2.131
Lone Pine—Mountain Camp....	0.6992 ..	2.705.

*) Chapter IX: «Summary of results», p. 116.

Эти наблюденія Лангле показали, что коэффиціентъ прозрачности атмосферы а измѣняется даже въ теченіе одного и того же дня. Кромѣ того, значенія этого коэффиціента, найденныя по одновременнымъ наблюденіямъ на верхней и нижней станціяхъ, всегда меньше вычисленныхъ изъ наблюденій одной только станціи, такъ какъ одинаковыя массы воздуха въ различныхъ высотахъ имѣютъ различные коеффиціенты прозрачности, меньшіе въ нижнихъ слояхъ, нежели въ верхнихъ. Такъ представленныя графически наблюденія 23 августа показываютъ, что въ полдень на Lone Pine, при атмосферной массѣ 7.37 дм., наблюдалось 1.760 калоріи. Вмѣстѣ съ тѣмъ интерполированіемъ было найдено, что на Mountain Camp, въ тотъ же самый день, солнечные лучи, проходя такую же массу воздуха въ 9 часовъ 30′ утра и въ 2 ч. 30′ пополудни, имѣли напряженіе въ 1.884 и въ 1.858 калорій.

Такимъ образомъ наблюденія показали, что на различныхъ высотахъ одинаковыя массы воздуха имѣютъ различные коэффиціенты теплопрозрачности, а именно большіе въ верхнихъ слояхъ атмосферы.

Такіе же результаты получены были и 25 августа.

На основаніи этихъ наблюденій Лангле нашелъ, что для одной и той же массы воздуха, проходимой солнечными лучами (7.39 дм.), среднія напряженія на Lone Pine и Mountain Camp были: 1.731 и 1.833 калорій, т. е. что на верхней станціи теплопрозрачность воздуха въ 1.06 раза большая, нежели на нижней.

Послѣднимъ выводомъ Лангле воспользовался для вычисленія солнечной постоянной.

Пусть a_1 коэффиціентъ прозрачности воздуха, находящагося выше Mountain Camp, и a_2—того слоя, который лежитъ между Lone Pine и Mountain Camp.

Изъ одновременныхъ наблюденій на двухъ станціяхъ для a_2 найдено было 0.70; но a_1 должно быть больше и при томъ въ отношеніи 1.06, т. е. $a_1 = 0.70 \times 1.06 = 0.74$.

При помощи этого коэффиціента и средняго напряженія на Mountain Camp въ калоріяхъ 1.9, для солнечной постоянной E найдено было 2.382 калорій, «величина», говоритъ Лангле, «которая, вѣроятно, настолько близка къ истинной, насколько возможно этого достигнуть при помощи означенныхъ методовъ, но непремѣнно значительно ниже той, которая могла бы быть найдена, если бы мы разсматривали дѣйствіе избирательнаго поглощенія» *).

Болометрическія изслѣдованія диффракціоннаго спектра, при помощи рѣшетки Рутерфорда, заключающей 681 штриховъ на 1. мм., произведены были, при высокомъ и низкомъ стояніяхъ солнца на Lone Pine 11, 12, 14 августа и на Mountain Camp—1, 2 и 3 сентября.

Наблюденія эти были весьма затруднительны, и одно изъ самыхъ серіозныхъ препятствій представлялъ вѣтеръ. Такъ какъ приборы защищались однимъ только навѣсомъ, то жгучій вѣтеръ, имѣя свободный доступъ, обдавалъ инструменты пескомъ и пылью; вмѣстѣ съ тѣмъ зной часто становился невыносимымъ для наблюдателей.

Не смотря на всѣ эти препятствія, въ каждый изъ означенныхъ дней производились цѣлые ряды наблюденій, при различныхъ высотахъ солнца, какъ показываетъ слѣдующая таблица **):

Мѣсто наблюденія.	Средн. зенит. разст.	$M\beta$	Числ.ряд.набл.	Средн. час. уголъ.
Lone Pine I	22°38′	7.17	8	$0^h 22'$
Lone Pine II	62°04′	14.14	10	$4^h 23'$
Lone Pine III	72°17′	21.52	4	$5^h 21'$
Mountain Camp I ..	29°21′	5.72	6	$0^h 17^m$
Mountain Camp Ia..	47°59′	7.46	4	$2^h 48^m$
Mountain Camp II ..	63°46′	11.28	7	$4^h 11^m$
Mountain Camp III..	77°44′	23.00	3	$5^h 21^m$.

*) Langley, p. 122.

**) Langley, p. 135, Chapter XII: «Bolometer observations on the solar diffraction spectrum made during the mount Whitney expedition».

При помощи столь богатаго наблюдательнаго матеріала возможно было, комбинируя полуденныя наблюденія съ другими, произведенными на одной и той же станціи, опредѣлить коэффиціенты прозрачности для каждаго элементарнаго луча, напряженіе котораго измѣрялось болометромъ.

Къ сожаленію, невозможно было только опредѣлить коэффиціенты теплопрозрачности при помощи комбинаціи наблюденій, произведенныхъ одновременно на обѣихъ станціяхъ, такъ какъ наблюденія на Mountain Camp и Lone Pine по времени значительно разнятся между собою. Но, въ виду тѣхъ препятствій, какія приходилось преодолѣвать экспедиціи, чрезвычайно затруднительно было имѣть два совершенно сравнимые болометра съ соотвѣтственнымъ числомъ наблюдателей.

Впрочемъ Лангле, на основаніи актинометрическихъ наблюденій, произведенныхъ при одинаковыхъ условіяхъ, сводитъ показанія болометра на одновременныя, умножая на найденные имъ для этого коэффиціенты. Тѣмъ не менѣе приходится сожалѣть, что экспериментальныя данныя на самомъ дѣлѣ не одновременны.

Результаты болометрическихъ наблюденій Лангле представилъ графически, откладывая длины волнъ на оси абсциссъ и измѣренныя напряженія на соотвѣтственныхъ ординатахъ. Такимъ образомъ получены были для Lone Pine и Mountain Camp кривыя, представляющія распредѣленіе солнечной энергіи отъ $\lambda = 0.35\,\mu$ до $\lambda = 1.2\,\mu$, такъ какъ измѣренія на Уитней далѣе не простирались; по возвращеніи же на Аллеганы кривыя эти были дополнены отъ $\lambda = 1.2\,\mu$ до $\lambda = 2.4\,\mu$.

Затѣмъ начерченныя кривыя были приведены къ тѣмъ, которыя соотвѣтствовали одновременнымъ актинометрическимъ наблюденіямъ, и наконецъ вычислена была таблица, представляющая «значенія болометрической энергіи въ спектрѣ при высокомъ и низкомъ стояніяхъ солнца, приведенныя въ согласіе съ соотвѣтственными актинометрическими отсчетами».

Изъ послѣдней таблицы мы приводимъ содержанія площадей.

Lone Pine.	I.	II.	III.
Площадь выше 1.2 μ......	55.125	49.550	43.580
Площадь ниже 1.2 μ......	19.875	15.300	13.380
Вся площадь........	75.000	64.850	56.960

Mountain Camp.	I.	Ia.	II.	III.
Площадь выше 1.2 μ ..	63.930	62.540	58.450	48.720
Площадь ниже 1.2 μ ..	19.920	18.130	15.700	11.790
Вся площадь	83.850	80.670	74.150	60.510

На основаніи полученныхъ результатовъ Лангле, при помощи уравненія $J_\lambda = E_\lambda\, p_\lambda^{\,\varepsilon}$, опредѣлилъ E_λ и p_λ для каждаго элементарнаго луча, предполагая, что p для каждой отдѣльной волны остается постояннымъ во всемъ атмосферномъ слоѣ. Коэффиціентъ теплопрозрачности для каждаго элементарнаго луча былъ опредѣленъ двумя способами:

1. Комбинированіемъ наблюденій, произведенныхъ на вершинѣ горы при высокомъ и низкомъ стояніяхъ солнца.

2. Сравненіемъ наблюденій на обѣихъ станціяхъ.

Въ первомъ случаѣ коэффиціентъ теплопрозрачности соотвѣтствуетъ воздуху, расположенному выше Mountain Camp, а во второмъ—тому слою, который раздѣляетъ обѣ станціи.

Ниже мы приводимъ вычисленныя такимъ образомъ коэффиціенты для каждой длины волны, при чемъ нужно замѣтить, что найденныя значенія въ томъ и другомъ случаѣ относятся къ цѣлой атмосферѣ.

	p_λ выше Mountain	p'_λ между двумя станціями.
$\lambda = 0.375\,\mu$....	0.35	0.10
$= 0.400\,\mu$....	0.48	0.15
$= 0.450\,\mu$....	0.81	0.09
$= 0.500\,\mu$....	0.85	0.12

$\lambda = 0.600\,\mu$....	0.88	0.32
$= 0.700\,\mu$....	0.94	0.54
$= 0.800\,\mu$....	0.99	0.88
$= 1.000\,\mu$....	0.92	0.99
$= 1.200\,\mu$....	0.97	0.96

Такимъ образомъ воздухъ вблизи земной поверхности гораздо менѣе прозраченъ для короткихъ волнъ, нежели верхніе слои атмосферы, и если мы будемъ опредѣлять напряженіе каждаго луча на границѣ атмосферы только при помощи вторыхъ коэффиціентовъ p'_λ, то для зеленаго и голубого цвѣтовъ получатся огромныя значенія, а для всей солнечной постоянной около 4—5 калорій.

Такъ какъ коэффиціентъ теплопрозрачности каждаго элементарнаго луча на самомъ дѣлѣ не остается постояннымъ въ различныхъ слояхъ атмосферы, то E_λ не можетъ быть вычислено при помощи одного только значенія p_λ.

Представимъ себѣ, что однородная атмосфера состоитъ изъ двухъ равныхъ слоевъ одинаковой плотности, но съ различными коэффиціентами прозрачности a и b для лучей, первоначальное напряженіе которыхъ равно A.

Если d_1 и d_2 измѣренныя болометромъ напряженія радіаціи, M_1 и M_2 проходимыя лучами массы воздуха, соотвѣтственно зенитнымъ разстояніямъ солнца 0° и 60°, то по формулѣ Пулье:

$$t^{(M_2-M_1)} = \frac{d_2}{d_1}, \quad E = \frac{d_1}{t^{M_1}}.$$

Тогда комбинированіе наблюденій верхней и нижней станцій можетъ быть сдѣлано тремя способами:

Наблюденія верхней станціи при высокомъ и низкомъ стояніи солнца.	Наблюденія нижней станціи при высокомъ и низкомъ стояніи солнца.	Наблюденія нижней и верхней станцій при высокомъ стояніи солнца.
$d_1 = Aa,\ d_2 = Aa^2$	$d_1 = Aa\,b,\ d_2 = Aa^2b^2$	$d_1 = Aa,\ d_2 = Aa\,b$
$t = \frac{Aa^2}{Aa} = a$	$t = \frac{Aa^2b^2}{Aab} = ab$	$t = \frac{Aa\,b}{Aa} = b$
$E = \frac{Aa}{a} = A$	$E = \frac{Aa\,b}{ab} = A$	$E = \frac{Aa}{b} = A\frac{a}{b}$

Такъ какъ характеръ атмосферы, расположенной между солнцемъ и земною поверхностью, подверженъ непрерывнымъ измѣненіямъ, то первые два способа не могутъ быть примѣнены къ опредѣленію солнечной постоянной.

При помощи третьяго способа возможно было бы найти точную величину солнечной состоянной въ томъ случаѣ, если-бы $a=b$. Но такъ какъ на самомъ дѣлѣ $a>b$, то и $E>A$.

Наконецъ изъ уравненія $A=E\frac{b}{a}$ мы могли бы найти A въ томъ случаѣ, если бы a и b были хорошо извѣстны. Такъ какъ мы не можемъ точно опредѣлить *a*, то значитъ, и третій способъ вноситъ ошибки, хотя конечно въ меньшей степени, нежели первые два.

Остается еще четвертый способъ, который примѣнялся Лангле при нахожденіи солнечной постоянной изъ актинометрическихъ наблюденій *).

Способъ этотъ состоитъ въ томъ, что изъ наблюденій на Lone Pine при высокомъ и низкомъ стояніяхъ солнца опредѣляется коэффиціентъ теплопрозрачности p_λ, и при помощи этого коэффиціента и измѣреннаго тамъ же напряженія J'_λ вычисляется по формулѣ $J'_\lambda = J_\lambda p^e_\lambda$ напряженіе J_λ, которое можно наблюдать непосредственно на Mountain Camp; вслѣдъ за тѣмъ опредѣляется солнечная постоянная изъ наблюденій на Mountain, при высокомъ и низкомъ солнечныхъ стояніяхъ, и найденная такимъ образомъ величина умножается на отношеніе:

$$\frac{J_\lambda \text{ наблюденное}}{J_\lambda \text{ вычисленное}} = n.$$

Такъ какъ третій методъ доставляетъ для солнечной постоянной большее значеніе, а четвертый—меньшее противъ дѣйствительной, то Лангле принимаетъ среднее изъ двухъ значеній, найденныхъ при помощи 3-го и 4-го способовъ.

---

*) См. стр. 81, часть II.

Этими двумя методами для солнечной постоянной получены были значенія: 3.505 и 2.630 и отсюда среднее 3.068 калоріи.

Такимъ образомъ изслѣдованія Лангле приводятъ къ тремъ главнѣйшимъ результатамъ:

1. Поглощеніе солнечныхъ лучей въ атмосферѣ—избирательное.

2. Воздухъ вблизи земной поверхности, въ особенности для лучей короткихъ волнъ, гораздо менѣе прозраченъ, нежели верхніе слои атмосферы, такъ что даже для одного и того же элементарнаго луча воздушную оболочку земли нельзя считать однородною поглощающею срединою.

3. Опредѣленіе солнечной постоянной изъ актинометрическихъ наблюденій вообще не можетъ быть точнымъ, и даже болометрическія наблюденія даютъ только приближенное значеніе для солнечной постоянной, такъ какъ не извѣстны законы, по которымъ растетъ показатель теплопрозрачности съ высотою.

Наиболѣе же вѣроятное значеніе для солнечной постоянной, по выводамъ Лангле, 3 калоріи.

По изслѣдованіямъ Лангле крайній предѣлъ инфра-красной части солнечнаго спектра соотвѣтствуетъ 3 μ.

«Было бы чрезвычайно важно знать», говоритъ Лангле: «длина волнъ, посылаемыхъ въ пространство поверхностью нашей планеты, выше или ниже этого предѣла 3 μ» *)?

Съ этою цѣлью Лангле произвелъ на Аллеганахъ цѣлый рядъ замѣчательныхъ изслѣдованій спектровъ, обусловленныхъ источниками всевозможныхъ температуръ, отъ плавящейся платины до тающаго льда, и пришелъ къ открытію такихъ волнъ, которыя никогда прежде не были измѣряемы или даже наблюдаемы.

---

*) «Sur les spectres invisibles». Ann. de Chimie et de Physique, 6 série, 1886.

Вмѣстѣ съ тѣмъ Лангле изслѣдовалъ лунный свѣтъ *), и нашелъ въ невидимой части спектра этой радіаціи болѣе длинныя волны, нежели въ солнечномъ спектрѣ. Эти новѣйшія изслѣдованія Лангле имѣютъ чрезвычайно большую важность для метеорологіи. Такъ онъ нашелъ, что въ лунной радіаціи большею частью преобладаютъ лучи этой невидимой части спектра и что такія же волны посылаетъ наша земля въ междупланетное пространство **).

Во время экспедиціи на гору Уитней произведены были также и другія интересныя изслѣдованія, какъ, напримѣръ, весьма обстоятельныя наблюденія надъ влажностью воздуха на верхней и нижней станціяхъ. На основаніи полученныхъ результатовъ Лангле представилъ распредѣленіе водяныхъ паровъ въ атмосферѣ, но, къ сожалѣнію, онъ не воспользовался этимъ драгоцѣннымъ матеріаломъ при своихъ окончательныхъ выводахъ относительно солнечной радіаціи.

Вмѣстѣ съ тѣмъ во время экспедиціи произведены были измѣренія процентнаго содержанія углекислоты въ атмосферномъ воздухѣ, при помощи нѣсколько измѣненнаго метода Петтенкофера.

ГЛАВА XI.

Наблюденія Фрелиха.

§ 25. Фрелихъ, при помощи своего актинометра, произвелъ весьма интересныя наблюденія, которыя привели его къ выводу, что солнечное лучеиспусканіе подвержено значительнымъ

*) «Spectres invisibles du soleil et de la lune». Ciel et Terre, juin 1888.

**) Въ послѣднее время нѣмецкимъ ученымъ Гертцемъ при электрическихъ разрядахъ катушки Румкорфа обнаружены эфирныя волны, длиною въ нѣсколько метровъ, представляющія какъ бы продолженіе инфра-красной части спектра и подчиняющіяся всѣмъ законамъ обыкновенныхъ лучей.

колебаніямъ, имѣющимъ тѣсную связь съ появляющимися на солнцѣ пятнами и свѣточами.

Измѣренія солнечной теплоты производились:

1. Въ сентябрѣ 1879 года на вершинѣ Фаульгорнъ.

2. Зимою 1879 — 1880 года въ Главной Берлинской Обсерваторіи.

3. Съ 1880 до конца 1882 г. на виллѣ Ганземана.

4. Въ 1883, 1884 и 1886 г. въ Вестендѣ, вблизи Берлина *).

Первыя свои наблюденія Фрелихъ отбрасываетъ, какъ ненадежныя; къ лучшимъ принадлежатъ тѣ, которыя произведены были съ 1881 по 1886 годъ.

Эти 33 наблюденія относительно точности результатовъ могутъ быть раздѣлены на три группы:

Къ первой группѣ принадлежатъ 17 наблюденій, съ вѣроятною ошибкою до 1%; ко второй группѣ—7 наблюденій, съ вѣроятною ошибкою до 3%; къ третьей группѣ—9 наблюденій, при чемъ вѣроятная ошибка болѣе значительна.

Для вычисленія солнечной постоянной Фрелихъ пользовался только рядами наблюденій первой группы.

Что же касается высоты солнца при этихъ наблюденіяхъ,

то 7	рядовъ	начинаются	съ	высоты	солнца	въ	20°,
6	»	»	»	»	»	»	15°,
9	»	»	»	»	»	»	10°,
11	»	»	»	»	»	»	5°.

На основаніи этихъ наблюденій Фрелихъ приходитъ къ выводу, что законъ поглощенія для цѣлаго пучка лучей различной преломляемости, когда высота солнца не ниже 10° и

---

*) Wiedem. Ann. 21, p. I, 1884. Frölich: «Mesure de la chaleur solaire». Ann. de chimie et de physique, 6 série, t. III. 1884. p. 500, перев. Бертело. Wiedem. Ann. 30, 1888.

небо совершенно чисто, можетъ быть выраженъ простою показательною функціею:

$$W = Se^{-\alpha\xi},$$

$$\text{или } \log. W = \log. S - \alpha\xi \log. e,$$

гдѣ S—количество теплоты, достигающей верхней границы земной атмосферы; W—напряженіе лучей у земной поверхности; ξ—«отношеніе пути» $= \frac{z}{H}$, при чемъ $H = \frac{1}{80}$ земного радіуса и z—длина луча въ атмосферѣ; α—средній коэффиціентъ поглощенія *).

Вмѣстѣ съ тѣмъ Фрелихъ приводитъ относительныя значенія солнечной постоянной, найденныя имъ по наблюденіямъ 1883 года:

29 іюня	574±9
1 іюля	564±8
14 августа.............. .	607±10
12 сентября	573±27
15 октября................	555±10

Эти же результаты выражены Фрелихомъ графически, при чемъ за абсциссы приняты времена измѣренія, а за ординаты—солнечное напряженіе.

Отсюда Фрелихъ приходитъ къ слѣдующей характеристикѣ хода солнечнаго напряженія:

Съ начала іюля до середины августа напряженіе увеличилось на 8%, далѣе до середины сентября напряженіе солнечной теплоты уменьшилось на 6%; отъ середины же сентября до октября большихъ колебаній не замѣчается.

Такой же ходъ, говоритъ Фрелихъ, наблюдается и въ измѣненіи количества солнечныхъ пятенъ за тотъ же самый періодъ. По наблюденіямъ Потсдамской обсерваторіи въ іюлѣ, сентябрѣ и октябрѣ на солнцѣ замѣчалось значительное количество

---

*) См. стр. 242, часть I, гдѣ между прочимъ, по недосмотру, на послѣдней строкѣ при S пропущено e.

солнечныхъ пятенъ; въ августѣ, напротивъ, ихъ было гораздо меньше.

На основаніи этого Фрелихъ приходитъ къ заключенію, что *напряженіе солнечной теплоты измѣняется въ обратномъ отношеніи къ числу пятенъ*, хотя «въ метеорологіи принимаютъ, что солнечная теплота постоянна».

Противъ выводовъ Фрелиха Анго *) дѣлаетъ цѣлый рядъ возраженій.

«Фрелихъ», говоритъ Анго, «начинаетъ такимъ образомъ: «допускаютъ въ метеорологіи, что солнечная теплота постоянна». Я не знаю, чтобы это мнѣніе было когда-либо формулировано такъ рѣшительно; но во всякомъ случаѣ оно не такъ абсолютно, какъ его считаетъ Фрелихъ. Хотя обыкновенно подъ именемъ солнечной постоянной понимается количество теплоты, посылаемой солнцемъ въ единицу времени, тѣмъ не менѣе, съ одной стороны, возможно допустить, что это количество подвержено незначительнымъ варіаціямъ, хотя, съ другой стороны извѣстно, что въ настоящее время наблюденія не имѣютъ еще достаточной точности, чтобы сдѣлать очевидными эти варіаціи. Прежде всего Фрелихъ нашелъ эти варіаціи огромными; я полагаю, что результаты его не могутъ быть оставлены безъ возраженій».

Анго, во-первыхъ, указываетъ на трудность опредѣленія солнечной постоянной по простой формулѣ Пулье, такъ какъ въ нашихъ климатахъ почти невозможно разсчитывать на такое состояніе атмосферы, при которомъ коэффиціентъ теплопрозрачности могъ бы сохранять одну и ту же величину въ теченіе 5 или 6 часовъ.

Другое затрудненіе Анго видитъ въ вычисленіи толщины проходимой лучемъ атмосферы, такъ какъ различныя формулы согласны между собою только до тѣхъ поръ, пока высота солнца больше 20°; «при настоящемъ же состояніи знаній трудно дать предпочтеніе какой либо формулѣ».

*) Angot: «A propos d'un mémoire de Frölich sur la mesure de la chaleur». Journ. de Phys. 1885. p. 459—468.

Такимъ образомъ, говоритъ Анго, для опредѣленія солнечной постоянной необходимо принимать во вниманіе только наблюденія, при которыхъ высота солнца не менѣе 20°, а между тѣмъ во время наблюденій Фрелиха высота солнца бывала иногда ниже 10°.

Далѣе Анго обращается къ самому методу наблюденій.

По методу Фрелиха напряженіе солнечныхъ лучей сперва опредѣляется, при помощи астатическаго гальванометра Сименса и Гальске, въ условныхъ единицахъ, абсолютная величина которыхъ зависитъ отъ чувствительности ґальванометра, сопротивленія цѣпи и цѣлаго ряда другихъ обстоятельствъ.

Такимъ образомъ послѣ наблюденій солнечной радіаціи должна быть опредѣлена, при помощи постояннаго источника теплоты, абсолютная величина произвольной единицы, измѣняющаяся отъ одного дня къ другому, и «въ этомъ послѣднемъ опредѣленіи», говоритъ Анго, «мнѣ кажется, и кроется ошибка метода».

«Послѣ многихъ безплодныхъ попытокъ, Фрелихъ пришелъ наконецъ къ тому, что принялъ за постоянный источникъ теплоты вычерненную металлическую пластинку, нагрѣтую посредствомъ водяныхъ паровъ до 100°. Подобная пластинка производитъ на термоэлектрическій столбикъ гораздо болѣе слабое дѣйствіе, нежели солнце, и чтобы опредѣлить это дѣйствіе, нужно измѣнить условія опыта, въ особенности уменьшить сопротивленіе; но тогда появляются собственные токи столбика, почему нужно сдѣлать важную поправку относительно температуры».

Переходя затѣмъ къ разсмотрѣнію самихъ чиселъ, Анго прежде всего указываетъ на то, что Фрелихъ не говоритъ, принималъ-ли онъ во вниманіе при своихъ выводахъ измѣненія разстоянія земли отъ солнца?

По наблюденіямъ Потсдамской обсерваторіи въ дни, указанные Фрелихомъ, или въ ближайшіе, поверхность, занятая

солнечными пятнами, по отношенію ко всей поверхности солнца, составляла:

29 іюня	0.00226	12 сентября....	0.00101
2 іюля	0.00165	15 октября	0.00329.
14 августа	0.00013		

Между числами Фрелиха и послѣдними есть нѣкоторое согласіе, и Анго не рѣшается приписать это согласіе простой случайности, какъ это дѣлаетъ Фогель; но, съ другой стороны, говоритъ Анго, если измѣненія на 0.002—0.003 солнечной поверхности, покрытой пятнами, влечетъ за собою измѣненіе посылаемой радіаціи на 9%, то почему же вліяніе пятенъ не обнаруживается въ наблюденіяхъ надъ температурою, такъ старательно производимыхъ на всемъ земномъ шарѣ?

Относясь тѣмъ не менѣе съ полнымъ интересомъ къ работѣ Фрелиха, Анго ставитъ слѣдующія условія, какъ необходимыя при изученіи означеннаго вопроса:

1. Отбросить всѣ наблюденія, сдѣланныя при высотѣ солнца ниже 20°.

2. Оперировать вдали отъ городовъ и по возможности на значительной высотѣ, для уменьшенія вліянія атмосферы.

3. Употреблять для наблюденій приборы, которые даютъ абсолютныя показанія, или же относительныя, но во всякомъ случаѣ сравнимыя между собою.

4. Для контроля производить одновременныя наблюденія на двухъ или многихъ станціяхъ.

Фогель, опровергая выводы Фрелиха, говоритъ, что, за исключеніемъ 14 августа, прочіе дни не могутъ дать ничего характернаго *), для доказательства измѣненій въ солнечномъ лучеиспусканіи.

---

*) Vogel: «Bemerkungen zu der Abhandlung des Hern O. Frölich über die Messung der Sonnenwärme». Zeitschrift der Oesterreichischen Gesellschaft für Meteorologie, Bd. XIX, 1884.

Сверхъ того, если даже допустить, говоритъ Фогель, что ядро пятна совершенно не участвуетъ въ лучеиспусканіи, то при самыхъ благопріятныхъ условіяхъ, радіація уменьшилась бы только на 0.4% нормальной радіаціи пятна.

Если подобныя варіаціи, говоритъ Фогель, и существуютъ, то онѣ могли бы быть обнаруженными на основаніи продолжительныхъ наблюденій, а не по наблюденіямъ пяти или шести дней.

Сообщая результаты наблюденій за 1884 и 1886 годы *), Фрелихъ говоритъ, что весною 1884 года онъ былъ весьма удивленъ значительнымъ измѣненіемъ солнечной радіаціи, въ сравненіи съ предыдущими годами. Разница была настолько велика, что Фрелихъ приписалъ ее неконтролированному измѣненію прибора. Вскорѣ Фрелихъ убѣдился, что такія измѣненія обусловливаются пластинкою каменной соли, черезъ которую проникали лучи къ термоэлектрическому столбику. Непосредственныя изслѣдованія при помощи черной поверхности, нагрѣтой парами до 100°, привели Фрелиха къ заключенію, что, вѣроятно, зимою 1884 года поглощательная способность каменной соли значительнѣе измѣнилась по отношенію къ темной радіаціи эталона, нежели относительно солнечныхъ лучей.

Впрочемъ, замѣчаетъ Фрелихъ, эти измѣненія пластинки весьма медленны, а потому результаты 1883 года внѣ всякаго сомнѣнія.

Поэтому пластинка каменной соли была удалена, и не смотря на это воздушные токи, вслѣдствіе особой установки термоэлектрическаго столбика, не проникали во внутрь прибора.

Въ томъ же мемуарѣ Фрелихъ отвѣчаетъ на возраженія Фогеля и Анго.

«Фогель», говоритъ онъ, «приходитъ къ выводу, что въ напряженіи солнечной теплоты во всѣ дни наблюденій, за исклю-

*) Frölich: «Messungen der Sonnenwärme». Wiedem. Ann. 1887, Bd. XXX.

ченіемъ 14 августа, не обнаруживается никакихъ колебаній. Съ этимъ я совершенно согласенъ и иначе не понимаю результатовъ наблюденій. Однако я долженъ сильно протестовать противъ того, какимъ образомъ Фогель старается ослабить силу доказательствъ отклоненія отъ нормальнаго хода въ августѣ. Онъ говоритъ: «возможно, что въ этотъ день была постоянная ошибка при приведеніи наблюденій къ абсолютной мѣрѣ». Въ чемъ же состоитъ эта возможность? Если бы ошибка происходила вслѣдствіе неправильнаго отсчета гальванометра, то въ такомъ случаѣ всѣ 15 отсчетовъ должны бы быть менѣе по крайней мѣрѣ 6%, что не мыслимо у наблюдателя, который въ теченіе двадцати лѣтъ отсчитываетъ гальванометръ».

Относительно же величины поверхности, занимаемой пятнами, Фрелихъ говоритъ, что пятна представляютъ собою только центры явленій, захватывающихъ значительную часть солнечной поверхности, такъ что по площади пятна и по измѣненіямъ, происходящимъ въ его радіаціи, нельзя еще вывести никакого заключенія.

Отвѣчая на возраженія Анго, Фрелихъ говоритъ, что требованіе—не дѣлать наблюденій при высотѣ солнца ниже 20°, не основательно, такъ какъ его ряды большею частью простираются до наблюденій, сдѣланныхъ при меньшихъ высотахъ, нежели 20°, и въ тоже время согласуются съ простымъ закономъ поглощенія.

Требованіе Анго—производить наблюденія вдали отъ большихъ городовъ, Фрелихъ считаетъ выполненнымъ при своихъ наблюденіяхъ, которыя производились въ разстояніи одной мили на западъ отъ Берлина.

«Анго выражаетъ желаніе», заключаетъ Фрелихъ, «чтобы такія наблюденія производились во многихъ пунктахъ; я вполнѣ сочувствую этому желанію, однако отсюда еще не слѣдуетъ, что наблюденія одной только станціи не имѣютъ никакого значенія».

ГЛАВА XII.

Изслѣдованія Ангстрема.

§ 26. Лѣтомъ 1887 года Ангстремъ, при помощи своего регистрирующаго актинометра, произвелъ измѣренія солнечной радіаціи на западномъ берегу Швеціи, а лѣтомъ 1888 года— на небольшомъ островѣ Uxelö (58°56′ с. ш. и 35°40′ в. д. отъ Ферро) *).

Вслѣдствіе обнаружившейся нѣкоторой ошибки, Ангстремъ воспользовался только матеріаломъ 1888 года, но и изъ этихъ наблюденій были выбраны только ряды, полученные 18 и 19 іюля.

Между 8 и 10 часами утра 18 іюля небо не вполнѣ было свободно отъ облаковъ; въ остальную же часть дня регистрированіе шло безъ перерывовъ.

Въ виду этого наблюденія 18 іюля служили Ангстрему только для контроля вполнѣ совершенныхъ наблюденій 19 іюля. Регистрирующій приборъ былъ установленъ на самомъ возвышенномъ пунктѣ острова, на высотѣ 35 метровъ надъ уровнемъ моря.

Солнечная высота опредѣлялась по обыкновенной формулѣ $\sin h = \sin \lambda \sin \delta + \cos \lambda \cos \delta \cos t$, а толщина атмосферы— по формулѣ Ламберта.

Ангстремъ воспользовался тремя кривыми Лангле, представляющими возможно большее, наименьшее и среднее, наиболѣе вѣроятное, распредѣленіе солнечной энергіи на границѣ земной атмосферы **).

Раздѣливъ всю солнечную энергію на 12 равныхъ частей. Ангстремъ опредѣлилъ для каждой изъ нихъ, по таблицамъ

---

*) Knut Angström: «Beobachtungen über die Strahlung der Sonne». Wied. Ann. Bd. XXXIX, 1890, p. 295, Heft. 2.

**) См. стр. 87 часть II, гдѣ приведены площади означенныхъ кривыхъ.

Лангле, средніе коэффиціенты теплопрозрачности и при помощи послѣднихъ вычислилъ напряженіе лучей при различныхъ слояхъ атмосферы по формулѣ:

$$i=\frac{A}{12}\sum_{n=1}^{n=12} p_n^d .$$

Тогда оказалось, что для низкихъ стояній солнца вычисленныя напряженія довольно хорошо согласуются съ наблюденными, а для высокихъ—кривая, полученная изъ наблюденій, болѣе круто поднимается, нежели вычисленная.

Явленіе это, по мнѣнію Ангстрема, обусловливается особою областью въ отдаленномъ концѣ инфра-красной части солнечнаго спектра, которая не принималась во вниманіе Лангле при вычисленіи коэффиціентовъ теплопрозрачности.

Лучи этой крайней части спектра поглощаются главнымъ образомъ углекислотою, распространенною въ земной атмосферѣ.

Опираясь на свои собственныя изслѣдованія, а также Лехера, Ангстремъ старался опредѣлить количсство солнечной энергіи, поглощаемой углекислотою *).

Экспериментальныя изслѣдованія Ангстрема показали, что въ углекислотѣ, также какъ и въ воздухѣ, поглощеніе лучей избирательное; но когда предварительно пройденъ лучами слой углекислоты, толщиною въ 0.5 метра, то поглощеніе лучистой энергіи инфра-красной части спектра все болѣе и болѣе соотвѣтствуетъ простому логариѳмическому закону. Примѣняя поэтому простую логариѳмическую формулу къ той части спектра различныхъ тепловыхъ источниковъ, Ангстремъ нашелъ экспериментальнымъ путемъ для коэффиціента теплопрозрачности углекислоты значенія, содержащіяся между 0.2 и 0.4.

---

* См. стр. 217, часть I.

Съ другой стороны Лехеръ, опредѣлилъ поглощеніе солнечныхъ лучей слоемъ углекислоты, толщиною въ 1.05 м., при барометрическомъ давленіи въ 760 мм. *).

По его наблюденіямъ, слой углекислоты, толщиною въ 1.05 м., поглощаетъ 13% солнечной энергіи, когда толщина проходимой лучами атмосферы равна 1.2. По мѣрѣ же пониженія солнца, уменьшается поглощеніе лучей углекислотою, и когда толщина атмосферы равна 3, поглощеніе уже едва замѣтно.

Такъ какъ при толщинѣ атмосферы 1.2 напряженіе солнечной радіаціи опредѣлено было въ 1.4 кал., то отсюда по формулѣ:

$$B—Bp^{1.05}=0.13\times1.4$$

Ангстремъ вычислилъ тепловое напряженіе B той части солнечнаго спектра, которая поглощается углекислотою, соотвѣтственно значеніямъ p: 0.2, 0.3 и 0.4.

Въ слѣдующей таблицѣ приведены значенія B, соотвѣтствующія различнымъ коэффиціентамъ теплопрозрачности p для атмосфернаго слоя 1.2; далѣе въ третьей колоннѣ дано напряженіе лучей i, прошедшихъ черезъ 1 м. углекислоты; въ четвертой—толщина атмосфернаго слоя d, производящаго такое же дѣйствіе; въ пятой—количество углекислоты L въ атмосферѣ, выраженное въ метрахъ при давленіи 760 мм.; въ шестой—среднее процентное содержаніе углекислоты K, приведенное къ нормальному давленію.

p	B	i	d	L	K
0.2—	0.22—	0.041—	0.8—	1.25—	0.0156
0.3—	0.26—	0.078—	0.6—	1.67—	0.0208
0.4—	0.30—	0.12 —	0.4—	2.50—	0.0312.

Что же касается дѣйствительнаго распредѣленія углекислоты въ атмосферѣ, то скорѣе можно ожидать, что процент-

*) Wied. Ann. 12. 1881, p. 467.

ное содержаніе углекислоты съ высотою убываетъ *), такъ что среднее не достигаетъ 0.02%.

Въ такомъ случаѣ, согласно таблицѣ Ангстрема, для коэффиціента прозрачности p нужно взять значеніе между 0.2 и 0.3.

Выводы эти послужили Ангстрему для опредѣленія коэффиціента теплопрозрачности p_1 слоя углекислоты, содержащейся въ атмосферѣ, а именно:

$$p_1 = p^{1.25} = (0.2)^{1.25} = p_1 = 0.1338,$$

$$p_1 = p^{1.67} = (0.3)^{1.67} = p_1 = 0.1339.$$

Такимъ образомъ при высокомъ стояніи солнца 15.8%—18.6% всего лучеиспусканія, съ тепловымъ напряженіемъ въ 0.22—0.26 калоріи, принадлежитъ той области солнечнаго спектра, которая наиболѣе поглощается углекислотою, а коэффиціентъ теплопрозрачности этихъ лучей 0.134 значительно меньше тѣхъ значеній, которыя даны Лангле для другихъ волнъ **).

На основаніи этихъ выводовъ Ангстремъ слѣдующимъ образомъ выражаетъ напряженіе солнечныхъ лучей въ зависимости отъ толщины атмосфернаго слоя:

$$i = A_1 p_1^d + A_2 p_2^d \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1),$$

гдѣ A_1 и p_1 соотвѣтствуютъ той части солнечной энергіи, которая слабо поглощается углекислотою, напротивъ, A_2, p_2 относятся къ той крайней части солнечнаго спектра, которая сильно поглощается углекислотою въ атмосферѣ.

Такъ какъ поглощеніе, зависящее отъ углекислоты, уже при толщинѣ атмосферы, равной 3, почти совершенно прекращается, то Ангстремъ изъ наблюденій при d=3 и d=4 нашелъ $A_1 = 1.56$ и $p_1 = 0.786$ и такимъ образомъ получилъ формулу:

$$i = 1.56 \times 0.786^d + 2.45 \times 0.134^d \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2).$$

---

*) См. стр. 209, часть I.

**) См. стр. 74, часть II.

Слѣдующая таблица даетъ вычисленныя по послѣдней формулѣ, а также наблюденныя Ангстремомъ напряженія солнечной радіаціи.

d		i выч.		i набл.		разности
1.5	—	1.207	—	1.21	+	0.003
2.0	—	1.008	—	1.00	—	0.008
2.5	—	0.870	—	0.87	—	0.000
3.0	—	0.763	—	0.76	—	0.003
4.0	—	0.596	—	0.60	+	0.004
5.0	—	0.468	—	0.47	+	0.002.

Согласіе наблюденныхъ и вычисленныхъ напряженій вполнѣ удовлетворительное.

Съ увеличеніемъ (хотя бы и незначительнымъ) содержанія углекислоты въ атмосферѣ, радіація, выражаемая вторымъ членомъ формулы (2), быстро убываетъ, и кривая дневного хода напряженія лучей болѣе согласуется съ простымъ логариѳмическимъ закономъ.

«Тѣмъ не менѣе я не буду утверждать», заключаетъ Ангстремъ, «что поглощеніе углекислотою есть единственная причина вышеуказанныхъ варіацій въ лучеиспусканіи. Въ атмосферѣ есть еще и другія измѣняющіяся составныя части, которыя обусловливаютъ поглощеніе инфра-красныхъ лучей, какъ напримѣръ водяной паръ».

Если въ формулѣ (2) положимъ $d=0$, то для солнечной постоянной получимъ 4 калоріи.

«Хотя такое значеніе для солнечной энергіи внѣ атмосферы», говоритъ Ангстремъ, «больше, нежели то, которое до настоящаго времени придавалось солнечной постоянной, но я не сомнѣваюсь, что на самомъ дѣлѣ значеніе этой постоянной гораздо больше, и что, вѣроятно, въ солнечномъ лучеиспусканіи есть значительнаго напряженія лучи, которые никогда къ намъ не доходятъ».

ГЛАВА XIII.

Актинометрическія наблюденія въ Россіи вообще.

§ 28. *Наблюденія г. Савельева.* Въ Россіи первыя актинометрическія наблюденія произведены были по иниціативѣ Р. Н. Савельева, который выписалъ изъ обсерваторіи Монсури нѣсколько актинометровъ Араго-Дави для нѣкоторыхъ метеорологическихъ станцій юга Россіи.

При помощи такихъ приборовъ произведены были, какъ говоритъ г. Савельевъ *), актинометрическія наблюденія:
Въ Льговѣ съ февраля по октябрь 1887 года г. Савельевымъ,
» Коростышевѣ въ отдѣльные дни 1888 года г. Кудрицкимъ.

Впрочемъ наблюденія эти нигдѣ не были опубликованы, а напечатаны были только наблюденія, которыя производились, при помощи актинометра Араго-Дави, въ теченіе всего 1888 года ежедневно въ 1 часъ средняго времени Г. Я. Близнинымъ въ г. Елисаветградѣ **).

Въ 1888 году г. Савельевъ началъ производить въ г. Кіевѣ актинометрическія наблюденія при помощи актинометра Крова. Наибольшее число калорій найдено было 8-го мая, а именно: 1.4 калоріи въ минуту на кв. сантиметръ, поставленный перпендикулярно къ солнечнымъ лучамъ.

Съ этого дня количество солнечной теплоты, достигающей земной поверхности, убывало сперва весьма рѣзко, затѣмъ медленнѣе, такъ что въ общемъ годовой ходъ измѣненій солнечной радіаціи напоминалъ собою найденный для Монпелье Крова, хотя максимумъ солнечной теплоты и слѣдующее за нимъ пониженіе, соотвѣтствующее майскому возврату холода, были нѣсколько позже, нежели въ Франціи.

---

*) Савельевъ: «Наблюденія надъ солнечною теплотою въ Кіевѣ». Зап. Имп. Нов. Унив. 1889 г. т. 50.

**) Актинометрическія наблюденія на метеорологической станціи въ Елисаветградѣ ежедневно производятся и по настоящее время. См. «Таблицы метеорологическихъ набл. станціи при Земскомъ Реальномъ Училищѣ».

День 7-го января 1889 года, по новому стилю, былъ наиболѣе благопріятнымъ для актинометрическихъ наблюденій, которыя производились г. Савельевымъ съ утра до заката солнца, такъ что сдѣлано было 42 наблюденія.

По словамъ г. Савельева, въ кривой, полученной наблюденіями въ этотъ день, «длина подкасательной возрастаетъ совершенно правильно въ ариѳметической прогрессіи—небольшія отступленія въ ту и другую сторону не выходятъ изъ предѣловъ точности работы», такъ что «формула проф. Крова какъ нельзя болѣе подходитъ къ этому случаю».

По наблюденіямъ этого дня, при помощи формулы Крова, г. Савельевъ получилъ для солнечной постоянной 2.96 калоріи, что соотвѣтствуетъ 2.86 кал. для средняго разстоянія земли отъ солнца.

Выводы г. Савельева вызвали слѣдующія замѣчанія проф. Крова *): «Эти наблюденія имѣютъ огромный интересъ, такъ какъ они показываютъ намъ, что законъ годовыхъ измѣненій солнечной радіаціи очевидно такой же въ Кіевѣ, какъ и въ Монпелье; что тепловая прозрачность атмосферы больше на первой станціи; что солнечная постоянная, опредѣляемая въ благопріятный зимній день въ Россіи, можетъ достигнуть величины, очень близкой къ 3 калоріямъ, къ чему мы, я и Гудайль, могли приблизиться только установивъ регистрирующій актинометръ на вершинѣ горы Ванту».

Въ іюнѣ 1890 года въ г. Кіевѣ началъ правильно функціонировать самопишущій актинометръ Крова, выполненный по заказу г. Савельева Пелленомъ въ Парижѣ **).

Пріемная часть инструмента поставлена была на особой террасѣ на крышѣ дома управленія ю. з. дорогъ.

---

*) Ann. de Chimie et de Physique 6 série, t. XVIII, décembre 1889.

**) Р. Н. Савельевъ: «Результаты актинометр. наблюденій въ 1890 г. въ г. Кіевѣ». Приложеніе къ Метеор. Обозр. проф. Клоссовскаго за 1891 г.

Кривыя, полученныя регистрированіемъ прибора въ 1890 году, приводятъ къ слѣдующимъ выводамъ.

Въ жаркіе и совершенно безоблачные лѣтніе дни солнечные лучи достигали наибольшаго напряженія между 7 и 10 часами утра; затѣмъ напряженіе ослабѣвало къ $4^1/_2$ ч. пополудни и вновь нѣсколько увеличивалось къ $6^1/_2$ ч., послѣ чего постепенно ослабѣвало до самаго заката солнца.

Въ прохладные лѣтніе дни кривыя получались болѣе правильныя, съ однимъ только максимумомъ, который приближался къ полудню.

Въ ясные и прохладные лѣтніе дни напряженіе солнечныхъ лучей достигало вообще нѣсколько большей силы, чѣмъ въ очень жаркіе дни; но въ прохладные совершенно безоблачные дни напряженіе солнечной радіаціи было значительно менѣе, нежели въ такіе дни, когда утро совершенно ясное, а къ полудню образуются большія кучевыя облака.

Кривыя для осеннихъ дней въ общемъ сходны съ кривыми прохладныхъ лѣтнихъ дней.

§ 29. *Наблюденія г. Шукевича.* Въ концѣ августа 1892 года г. Шукевичемъ начаты были въ Константиновской обсерваторіи въ Павловскѣ, при помощи прибора проф. Хвольсона, актинометрическія наблюденія, которыя продолжались до августа 1893 года *).

По методу проф. Хвольсона тепловое напряженіе солнечныхъ лучей, при наблюденіяхъ помощью относительнаго актинометра, опредѣляется формулами:

$$q=\frac{2c}{s}\Omega_1 \quad \text{и} \quad q=\frac{2c}{s}\Omega_2,$$

при чемъ для нахожденія Ω_1 и Ω_2 служатъ температурныя разности **):

$$\theta_1 \; \dots\dots \; \dots\dots \; \theta_2 \; \dots\dots \; \dots \; -\theta_3$$
$$\theta'_1 \qquad \theta'_2 \qquad -\theta'_3$$

*) Repertorium für Meteorologie, Bd. XVII, № 5.

**) См. стр. 172, часть I.

При наблюденіяхъ же помощью пиргеліометра *) солнечная радіація въ абсолютныхъ единицахъ выражается формулою:

$$q=\frac{2c}{s}\cdot\frac{\theta}{t}.$$

Если обозначить:

$$\Omega_a=\frac{1}{2}(\Omega_1+\Omega_2),\quad \frac{\theta}{t}=\Omega_p \quad \text{и} \quad \frac{\Omega_p}{\Omega_a}=K,$$

тогда изъ одновременныхъ наблюденій пиргеліометра и актинометра получимъ:

$$q=\frac{2c}{s}\cdot K\cdot\Omega_a=\frac{c}{s}K\,(\Omega_1+\Omega_2).$$

Такимъ образомъ, найдя изъ одновременныхъ наблюденій по обоимъ приборамъ K, легко уже выразить показанія актинометра въ абсолютныхъ единицахъ.

Такія одновременныя наблюденія произведены были въ различные дни августа 1892 года профессоромъ Хвольсономъ, а также г.г. Лейстомъ и Шукевичемъ, при чемъ найдено было среднее значеніе $K=1.44$.

Изъ актинометрическихъ наблюденій г. Шукевича получились слѣдующіе выводы:

Максимумъ напряженія солнечныхъ лучей былъ около 20—21 апрѣля; въ теченіе всѣхъ лѣтнихъ мѣсяцевъ замѣчалось ослабленіе солнечной радіаціи, а въ сентябрѣ обнаружился второстепенный максимумъ; далѣе напряженіе лучей сильно убывало до минимума въ ноябрѣ.

---

*) См. стр. 126, часть I.

ГЛАВА XIV.

Актинометрическія наблюденія на Большомъ Фонтанѣ.

§ 30. Въ лѣтніе мѣсяцы 1890, 1891 и 1894 годовъ я производилъ актинометрическія наблюденія въ предмѣстьи г. Одессы, на Большомъ Фонтанѣ.

Площадь въ 1000 кв. саженей, гдѣ устанавливались приборы, занимаетъ наиболѣе возвышенный пунктъ предмѣстья и, находясь на самой окраинѣ селенія, защищена отъ большой дороги деревьями и заборомъ.

Наблюденія производились при помощи переноснаго актинометра Крова, изготовленнаго въ мастерской Дюкрете въ Парижѣ и градуированнаго самимъ проф. Крова.

Перемѣщеніе ртутнаго индекса моего актинометра на одно дѣленіе соотвѣтствуетъ 0.0937 калоріи на кв. сантиметръ.

Наблюденія велись по методу проф. Крова, т. е. перемѣщенія ртутнаго индекса въ минуты, непосредственно слѣдующія за открытіемъ или закрытіемъ актинометра, не наблюдались, и такимъ образомъ въ пять минутъ дѣлалось шесть отсчетовъ: въ началѣ и концѣ первой, третьей и пятой минутъ.

Кромѣ того въ 1891 году, одновременно съ наблюденіями по актинометру Крова, мною производились отсчеты на вычерненномъ и блестящемъ термометрахъ прибора Араго-Дави.

§ 31. *Наблюденія 1890 года.* Наблюденія производились въ слѣдующіе наиболѣе благопріятные дни: 18 (30) іюня, 19 іюня (1 іюля), 20 іюня (2 іюля), 21 іюня (3 іюля), 2 (14) іюля, 3 (15) іюля, 16 (28) іюля, 17 (29) іюля, 19 (31) іюля, 21 іюля (2 августа), 22 іюля (3 августа), 23 іюля (4 августа), 6 (18) августа, 13 (25) августа, 8 (20) сентября, 9 (21) сентября и 14 (26) сентября.

18 (30) іюня. Наблюденія производились съ 10 часовъ утра до 7 часовъ вечера, съ перерывомъ около полудня и въ большинствѣ случаевъ въ началѣ каждаго часа.

День былъ ясный, небо отъ восхода до заката солнца оставалось безоблачнымъ, однако было нѣсколько молочнаго цвѣта; воздухъ былъ совершенно спокоенъ, и только изрѣдка набѣгавшій вѣтерокъ едва шелестилъ листьями деревъ.

Наибольшія напряженія въ 1 28 и 1.27 калоріи отмѣчены были въ 11 часовъ утра, а также въ 3 часа пополудни.

19 іюня (1 іюля). Наблюденія происходили съ 8 час. 15 мин. утра черезъ каждые десять минутъ до 1 ч. 15 м. пополудни.

День былъ такой-же, какъ и предыдущій. Второстепенный максимумъ 1.35 кал. обнаруженъ былъ въ 10 ч. утра, главный максимумъ 1.42 кал. въ полдень.

20 іюня (2 іюля). Въ 9 час. 45 мин. утра напряженіе достигло 1.32 кал., затѣмъ понизилось въ 10 ч. 15 м. до 1.08 кал. и наконецъ отъ 12 ч. до 1 ч. пополудни напряженіе оставалось равнымъ 1.31 калоріи. Далѣе напряженіе убывало до заката солнца.

21 іюня (3 іюля). Наблюденія производились съ 9 час. утра черезъ каждые десять минутъ до 7 часовъ вечера.

День былъ наиболѣе благопріятный для актинометрическихъ наблюденій. Напряженіе солнечныхъ лучей возрастало до 12 ч. дня, когда достигло 1.41 калоріи, и оставалось неизмѣннымъ до 12 ч. 45 м.; затѣмъ радіація постепенно понижалась до заката солнца.

Въ слѣдующіе затѣмъ дни наблюденія производились въ началѣ каждаго часа.

2(14) іюля. Наблюденія производились съ 8 часовъ утра до 6 часовъ вечера. Небо было безоблачно, воздухъ спокоенъ. Максимумъ напряженія 1.36 кал. отмѣченъ въ 10 часовъ утра, а также въ 3 часа пополудни 1.35 калоріи.

3(15) іюля. Наблюденія производились съ 8 часовъ утра до 1 ч. пополудни. Наибольшее напряженіе было въ пол-

день: 1.36 калоріи. Небо было безоблачно, цвѣтъ грязно-голубой.

16 (28) іюля. Наблюденія производились съ 9 часовъ утра до 6 часовъ вечера. Въ 9 часовъ утра на юго-западѣ показались небольшія кучевыя облака; облачность въ теченіе дня не превышала 1. Наибольшее напряженіе 1.31 кал. отмѣчено было въ полдень.

17 (29) іюля. Наблюденія производились съ 10 часовъ утра до 6 часовъ пополудни. Въ 10 часовъ утра на юго-западѣ показались небольшія кучевыя облака, вскорѣ впрочемъ разсѣявшіяся.

Въ часъ пополудни дулъ слабый юго-западный вѣтеръ. Наибольшее напряженіе было 1.26 кал. въ 11 часовъ утра и въ 3 ч. пополудни.

19 (31) іюля. Наблюденія производились въ 10, 11 и 12 часовъ дня, при чемъ найдены были напряженія: 1.11, 1.12 и 1.05 калорій. Съ утра небо было чисто, но по мѣрѣ поднятія солнца надъ горизонтомъ быстро расли кучевыя облака, такъ что къ полудню облачность достигла 7. Подулъ умѣренный юго-западный вѣтеръ, и въ часъ пополудни разразилась довольно сильная гроза, сопровождаемая обильнымъ дождемъ.

21 іюля (2 августа). Наблюденія производились съ 7 часовъ утра до 6 часовъ вечера. Съ утра небо было безоблачно, воздухъ совершенно спокоенъ. Въ 11 часовъ показались на западѣ кучевыя облака, которыя расли до 1 ч. пополудни; въ это время облачность достигла 5. Затѣмъ подулъ умѣренный юго-западный вѣтеръ; облачность стала постепенно уменьшаться, и въ 5 ч. пополудни небо совершенно очистилось. Наибольшее напряженіе 1.43 калоріи было въ полдень.

22 іюля (3 августа). Наблюденія производились съ 9 часовъ утра до 6 часовъ вечера. Въ теченіе всего дня небо

оставалось чистымъ. Съ утра дулъ слабый юго-восточный вѣтеръ, который затихъ къ 11 часамъ утра. Максимумъ напряженія 1 32 калоріи замѣченъ былъ въ полдень и второстепенный максимумъ 1.21 кал. въ 3 часа пополудни.

23 іюля (4 августа). Наблюденія производились съ 10 часовъ утра до 6 часовъ вечера. Воздухъ былъ спокоенъ въ теченіе цѣлаго дня; небо безоблачно, но нѣсколько молочнаго цвѣта Наибольшее напряженіе 1.40 кал. было въ полдень.

6 (18) августа. Наблюденія производились съ 9 часовъ утра до 4 часовъ пополудни. Съ ранняго утра дулъ умѣренный сѣверо-восточный вѣтеръ, который затихъ къ 11 часамъ утра; небо молочнаго цвѣта оставалось безоблачнымъ въ теченіе цѣлаго дня. Въ 10 ч. утра было 1.29 калоріи.

13 (25) августа. Въ теченіе всего дня воздухъ былъ совершенно спокоенъ; небо безоблачно, хотя молочнаго цвѣта. Наблюденія производились черезъ каждые 15 м. съ 7 часовъ утра до 6 часовъ 15 мин, вечера. Максимумъ солнечнаго напряженія 1.33 кал. былъ въ 12 ч. 48 м. дня.

8 (20) сентября. День былъ прекрасный, и наблюденія производились непрерывно съ 8 часовъ утра до 3 часовъ 33 м. пополудни. Наибольшее напряженіе солнечной радіаціи 1.24 кал. найдено было въ 12 часовъ дня.

9 (21) сентября. Наблюденія производились при благопріятной погодѣ съ 7 ч. 30 м. утра до 4 часовъ пополудни. Максимумъ солнечнаго напряженія 1.18 кал. былъ въ 10 ч. 33 м. утра.

14 (26) сентября. Воздухъ совершенно спокоенъ, небо безоблачно, молочнаго цвѣта. Наблюденія производились съ 8 часовъ утра до 4 ч. пополудни. Максимумъ солнечнаго напряженія 1.27 калоріи былъ въ 11 ч. утра.

§ 32. *Наблюденія 1891 года.* Одновременно съ наблюденіями по актинометру Крова производились отсчеты на вычерненномъ и блестящемъ термометрахъ прибора Араго-Дави.

Этотъ приборъ обсерваторіи Монсури мною устанавливался при наблюденіяхъ на небольшомъ деревянномъ столикѣ, высотою въ $1^1/_2$ аршина, такимъ образомъ, чтобы радіаціонные термометры всегда оставались въ плоскости, перпендикулярной къ вертикальной плоскости, проходящей черезъ солнце. Такого же пріема держался при своихъ наблюденіяхъ и проф. Хвольсонъ *); между тѣмъ въ обсерваторіи Монсури приборъ Араго-Дави устанавливается неподвижно въ плоскости, перпендикулярной къ меридіану. Но, очевидно, первый способъ установки раціональнѣе, такъ какъ показанія прибора, между прочимъ, зависятъ отъ положенія вычерненнаго и блестящаго термометровъ относительно солнца **).

Мѣсто, гдѣ производились мною наблюденія, было вдали отъ зданій и въ особенности отъ бѣлыхъ стѣнъ, могущихъ своею отраженною теплотою влiять на показанія прибора.

Отсчеты на термометрахъ прибора Монсури производились мною послѣ каждаго открыванія или закрыванія актинометра Крова.

Кромѣ того, передъ каждымъ наблюденіемъ и по окончаніи по актинометру Крова, отмѣчались показанія особаго термометра, расположеннаго въ тѣни, для опредѣленія температуры воздуха.

Для выраженія показаній того прибора Араго-Дави, при помощи котораго производились мною наблюденія, въ актинометрическихъ градусахъ разность термометрическихъ отсчетовъ должна быть умножена на коэффиціентъ 3.35.

13(25) іюня. Наблюденія производились съ 7 ч. утра, въ началѣ каждаго часа, до 12 часовъ. Съ ранняго утра сѣверо-западную часть неба застилали cirro-strati (облачность 1); дулъ слабый юго-восточный вѣтеръ, но къ 9 часамъ утра было уже совершенно тихо. Съ 9 часовъ утра стали подниматься кучевыя облака (cumuli), которыя къ 12 часамъ дня сгусти-

---

*) О Хвольсонъ: «О совр. сост. актинометріи, стр. 189.

**) См. стр. 164, часть I.

лись въ дождевыя тучи (nimbus). Въ часъ пополудни облака закрыли солнце, и въ отдаленіи послышались раскаты грома. Наибольшее напряженіе солнечной радіаціи по актинометру Крова 1.07 кал. было въ 11 часовъ утра, а по Араго-Дави въ тоже время 54^0.

16 (28) іюня. Наблюденія производились съ 7 часовъ утра до 3 часовъ пополудни. Съ утра у горизонта были слоистые облака (stratus 1); цвѣтъ неба молочный, дулъ слабый юго-западный вѣтеръ.

Съ 9 часовъ утра стали подниматься кучевыя облака, которыя расли до 3-хъ часовъ пополудни; въ это время облачность достигла 5. Въ 3 часа сталъ накрапывать дождь; вѣтеръ юго-западный усилился, и послышались раскаты грома.

Максимумъ напряженія солнечныхъ лучей 1.36 кал., а полная радіація, опредѣляемая приборомъ Монсури, 51^0—въ полдень.

18 (30) іюня. Наблюденія производились съ 7 часовъ утра до 7 часовъ пополудни. Съ утра дулъ умѣренный южный вѣтеръ; небо было безоблачно, но молочнаго цвѣта. Съ 8 часовъ стали подниматься кучевыя облака, и къ 5 часамъ пополудни облачность достигла 6.

Наибольшее напряженіе солнечныхъ лучей было въ полдень: 1.42 калоріи; въ тоже время по актинометру Араго-Дави найдено было 77^0.

19 іюня (1 іюля). Съ утра небо было чисто, но къ полудню появились кучевыя облака, такъ что къ 4 ч. 30 м. облачность доходила до 7. Цѣлый день дулъ умѣренный сѣверный вѣтеръ. Наибольшее напряженіе солнечныхъ лучей было въ 1 часъ пополудни: 1.2 кал.; максимумъ всей радіаціи небеснаго свода: 65^0 наблюдался въ 11 часовъ утра.

20 іюня (2 іюля). Утромъ наблюдались cirro-strati (облачность 3); къ 10 часамъ утра появились кучевыя облака. Дулъ слабый сѣверо-восточный вѣтеръ. Наибольшее напряженіе солнечныхъ лучей 1.22 калоріи было въ 1 часъ пополудни;

максимумъ напряженія радіаціи по актинометру Монсури 77°— въ 10 ч. 23 м.

20 іюня (3 іюля). Наблюденія производились съ 7 часовъ утра до 2 часовъ пополудни. Съ ранняго утра на небесномъ сводѣ замѣчалась тонкая, бѣлая пленка (cirro-strati), которая исчезла послѣ 8 часовъ утра, и небо совершенно очистилось. Въ воздухѣ была полная тишина. Къ 11 часамъ утра стали подниматься кучевыя облака, которыя послѣ полудня сгустились въ дождевыя тучи. Въ 2 часа пополудни облачность достигла 7; сталъ накрапывать дождь, въ отдаленіи послышались раскаты грома. Наибольшее напряженіе солнечныхъ лучей: 1.22 калоріи было въ 10 часовъ утра, когда приборъ Араго-Дави показывалъ 70°.

22 іюня (4 іюля). Съ утра небо было безоблачно, молочнаго цвѣта. Въ 10 часовъ показались кучевыя облака, такъ что къ полудню облачность достигла 3; вслѣдъ затѣмъ облачность стала понижаться. Цѣлый день дулъ слабый сѣверо-восточный вѣтеръ. Наблюденія производились съ 7 часовъ утра до 5 часовъ пополудни. Наибольшее напряженіе радіаціи было въ 9 часовъ утра: по актинометру Крова 1.24 калоріи и по прибору Араго-Дави 71°.

7 (19) іюля. Съ утра небо было молочнаго цвѣта; къ 12 часамъ дня сводъ небесный сталъ покрываться легкою пленкою (cirro-stratus), такъ что въ 1 часъ пополудни облачность достигла 4. Дувшій съ утра умѣренный сѣверо-восточный вѣтеръ къ 11 часамъ затихъ. Наблюденія производились съ 7 ч. 35 м. утра до 5 ч. 35 м. пополудни. Максимумъ напряженія радіаціи былъ въ 12 ч. 45 м. и въ 2 часа пополудни: 1.22 калоріи и 60°.

9 (21) іюля. Наблюденія производились съ 7 часовъ утра до 6 часовъ вечера. Утромъ облачность (cumulo-stratus) не превышала 1; къ 11 часамъ стали подниматься кучевыя облака, разсѣившіяся послѣ полудня. Въ остальную часть дня

у горизонта держались слоистыя облака. Наибольшее напряженіе было въ 11 часовъ утра: 1.25 калоріи и 59°.

11 (23) іюля. Утромъ былъ небольшой туманъ, разсѣявшійся къ 8 часамъ. Небо было безоблачно до 1 ч. пополудни, когда начали подниматься кучевыя облака, державшіяся до 4 часовъ пополудни; облачность доходила до 5. Воздухъ цѣлый день былъ совершенно спокоенъ. Наибольшее напряженіе солнечныхъ лучей 1.27 калоріи было въ 11 часовъ утра; актинометръ Монсури показывалъ 65° въ 10 часовъ утра и въ 4 часа пополудни.

12 (24) іюля. Наблюденія производились съ 12 часовъ дня до 6 часовъ вечера. Въ воздухѣ было тихо. Кучевыя облака росли до 3 часовъ пополудни, при чемъ облачность достигла 3. Съ 4 часовъ пополудни у горизонта наблюдались слоистыя облака. Напряженіе солнечныхъ лучей въ 12 ч. дня и въ 3 часа пополудни было: 1.25 калоріи. Приборъ Монсури показывалъ наибольшее напряженіе радіаціи 71° въ 1 часъ пополудни.

16 (28) іюля. Съ утра небо было безоблачно, но въ 11 ч. 30 м. кучевыя облака обусловливали облачность 4; съ 2 часовъ пополудни облачность нѣсколько уменьшилась. Наблюденія производились съ 7 часовъ утра до 5 часовъ пополудни. Наибольшее напряженіе солнечныхъ лучей 1.12 калоріи было въ 11 ч. 30 м., по актинометру Араго-Дави 64° въ 1 часъ пополудни.

17 (29) іюля. Утромъ небо было безоблачно, воздухъ спокоенъ. Въ 9 часовъ 45 м. на небѣ наблюдались кучевыя облака (облачность 2). Съ 12 часовъ 30 мин. подулъ умѣренный южный вѣтеръ; въ 3 часа на небѣ наблюдались cirro-strati (облачность 5). Наибольшее напряженіе солнечныхъ лучей 1.06 кал. было въ 12 часовъ 30 мин. Приборъ Монсури показывалъ максимумъ радіаціи 70° въ 9 часовъ 45 минутъ. Наблюденія производились съ 7 ч. утра до 5 ч. пополудни.

18 (30) іюля. Наблюденія производились съ 7 часовъ 30 минутъ утра до 7 часовъ вечера. Въ теченіе цѣлаго дня небо оставалось безоблачнымъ. Съ девяти часовъ утра до вечера дулъ умѣренный юго-западный вѣтеръ. Наибольшее напряженіе солнечныхъ лучей 1.17 калоріи было въ 10 часовъ утра. Приборъ Монсури показывалъ максимумъ радіаціи 67° въ 12 часовъ дня.

19 (31) іюля. Въ теченіе всего дня на небѣ были слоистыя облака, при чемъ дулъ слабый южный вѣтеръ. Наблюденія продолжались съ 7 часовъ 20 минутъ утра до 4 часовъ пополудни, когда облачность достигла 5, при чемъ облака стали закрывать собою дискъ солнца. Главный максимумъ напряженія солнечныхъ лучей: 1.28 калоріи былъ въ полдень, когда приборъ Араго-Дави показывалъ 69°; кромѣ того были второстепенные максимумы: въ 9 часовъ утра и въ 3 часа пополудни.

20 іюля (1 августа). Наблюденія производились съ 7 часовъ 15 мин. утра до 5 часовъ пополудни. Съ ранняго утра было совершенно тихо, небо безоблачно. Съ девяти часовъ утра началъ дуть южный вѣтеръ. Небо оставалось чистымъ до полудня, послѣ котораго стало покрываться слоистыми и слоисто-перистыми облаками. Наибольшее напряженіе солнечной радіаціи 1.18 калоріи было въ полдень, а по актинометру Араго-Дави въ 10 часовъ утра: 66°.

23 іюля (4 августа). Въ предшествующую ночь отъ 2 часовъ 30 мин. до 2 ч. 40 м. пополуночи былъ ливень. Въ теченіе цѣлаго дня воздухъ былъ спокоенъ. Облачность (cirro-stratus) постепенно возрастала, при чемъ въ 2 часа пополудни достигла 9. Наибольшее напряженіе солнечныхъ лучей 1.19 калоріи было въ 11 часовъ утра; по актинометру Араго-Дави 57°—въ полдень.

24 іюля (5 августа). По утру въ воздухѣ была совершенная тишина. Съ 8 часовъ утра стали подниматься кучевыя

облака. Съ десяти часовъ утра началъ дуть умѣренный южный вѣтеръ, при чемъ на небѣ появились cirro-strati. Въ 2 часа 30 мин. облачность достигла 3, въ 3 часа пополудни до 6, а въ 4 часа пополудни—до 8. Наибольшее напряженіе солнечныхъ лучей 1.22 калоріи было въ 10 часовъ утра, наибольшая же радіація по прибору Монсури 53° наблюдалась въ 2 часа 33 мин. пополудни.

25 іюля (6 августа). Наблюденія производились съ 7 часовъ 40 мин. утра до 5 часовъ пополудни. День былъ почти безоблачный. Съ утра до вечера дулъ слабый юго-восточный вѣтеръ. Наибольшее напряженіе солнечныхъ лучей 1.22 калоріи было въ 12 часовъ 25 мин. пополудни; по актинометру Араго-Дави 57°—въ 2 часа пополудни.

30 іюля (11 августа). Съ утра небо было молочнаго цвѣта, къ полудню прояснилось. Въ тоже время около полудня стали подниматься кучевыя облака, но облачность въ теченіе дня не превышала 1. Дулъ слабый сѣверо-восточный вѣтеръ. Наблюденія производились съ 8 часовъ утра до 7 часовъ вечера. Наибольшее напряженіе солнечной радіаціи 1.33 калоріи было въ 11 часовъ утра; въ 1 часъ пополудни актинометръ Араго-Дави показывалъ 57°.

31 іюля (12 августа). По утру небо было молочнаго цвѣта, но къ 9 часамъ прояснилось. День былъ безоблачный, въ воздухѣ тишина. Наблюденія производились съ 7 часовъ 30 мин. утра до 6 часовъ вечера. Наибольшее напряженіе было въ 2 часа пополудни: 1.22 калоріи, 68°.

1 (13) августа. По утру былъ туманъ, разсѣявшійся къ 9 часамъ утра. Въ 11 часовъ на небѣ появились кучевыя облака, но облачность въ теченіе дня не превышала 3. Наблюденія производились съ 7 часовъ 10 мин. утра до 5 часовъ пополудни. Наибольшее напряженіе солнечныхъ лучей 1.17 калоріи было въ 2 часа пополудни, по актинометру Араго-Дави 52° въ часъ пополудни.

2 (14 августа). Съ утра былъ легкій туманъ, къ 8 часамъ разсѣявшійся. День былъ безвѣтренный. Послѣ 11 часовъ утра усиленно стали расти кучевыя облака, и въ часъ пополудни облачность достигла 8, послѣ чего стала уменьшаться. Наблюденія производились съ 7 часовъ 30 мин. утра до 6 часовъ вечера. Наибольшее напряженіе солнечныхъ лучей 1.29 калоріи было въ 11 часовъ утра; по актинометру Араго-Дави 59° въ 12 часовъ 35 минутъ.

10 (22 августа). По утру былъ небольшой туманъ, разсѣявшійся къ 10 часамъ. Въ полдень стали подниматься кучевыя облака, при чемъ въ 1 часъ пополудни облачность достигла 5, а въ 4 часа облака закрыли солнечный дискъ. Наибольшее напряженіе солнечныхъ лучей 1.18 калоріи было въ 12 часовъ 25 минутъ, а по актинометру Араго-Дави 52° въ 1 часъ пополудни.

14 (26) августа. Утромъ былъ легкій туманъ; къ 9 часамъ утра горизонтъ очистился. Въ воздухѣ было тихо. Въ полдень появились кучевыя облака, и въ 2 часа пополудни облачность доходила до 4. Въ 3 часа пополудни кучевыя облака были вблизи солнца, а въ 4 часа солнечный дискъ закрытъ былъ облаками. Наблюденія производились съ 7 часовъ 35 мин. утра до 5 часовъ пополудни. Наибольшее напряженіе солнечныхъ лучей 1.17 калоріи было въ 2 часа пополудни, когда актинометръ Араго-Дави показывалъ 55°.

15 (27) августа. Съ утра былъ туманъ. Въ воздухѣ тишина. Къ 11 часамъ утра кое-гдѣ разбросаны были незначительныхъ размѣровъ кучевыя облака, вскорѣ совершенно разсѣявшіяся. Съ 3 часовъ пополудни слоистыя облака обуслов ливали облачность 4. Наибольшее напряженіе 1.17 калоріи было въ полдень, когда напряженіе полной радіаціи было 55°.

22 августа (3 сентября). Утро было туманное, но къ 8 часамъ утра горизонтъ прояснился, и небо было чисто до

11 часовъ, когда стали всплывать кучевыя облака. Въ 11 часовъ 30 мин. пополудни облачность доходила до 3, затѣмъ постепенно возрастала, и въ 4 часа пополудни солнечный дискъ былъ совершенно закрытъ черными тучами. Наблюденія производились съ 7 часовъ 30 мин. утра до 4 часовъ пополудни. Наибольшее напряженіе солнечныхъ лучей 1.33 калоріи было въ полдень; по актинометру Араго-Дави—въ 2 часа пополудни было 54°.

30 августа (11 сентября). Съ утра небо было молочнаго цвѣта; въ десять часовъ утра появились кучевыя облака, а въ 11 часовъ замѣчались на сводѣ небесномъ весьма характерныя cirri, тянущіяся съ юго-запада на сѣверо-востокъ. Наибольшая облачность (5) была въ 1 часъ пополудни, при чемъ облака были вблизи солнца. Наблюденія производились съ 8 часовъ утра до 6 часовъ вечера. Наибольшее напряженіе солнечныхъ лучей 1.17 калоріи было въ 2 часа пополудни; по актинометру Араго-Дави 58°—въ 3 часа пополудни.

§ 33. *Наблюденія 1894 года.* Актинометрическія наблюденія въ 1894 году производились исключительно при помощи тогоже самаго прибора профессора Крова, какъ и въ предыдущіе годы.

1(13) іюля. Утро было туманное. Къ 9 часамъ утра горизонтъ очистился; восточный вѣтеръ едва шелестилъ листьями деревъ. Въ 10 часовъ утра слоистыя облака обусловливали облачность 1; къ полудню облачность достигла 4; въ 5 часовъ пополудни облачность была 5. Наблюденія производились съ 7 часовъ утра до 5 часовъ пополудни. Наибольшее напряженіе солнечныхъ лучей 1.37 было въ 11 часовъ утра.

2(14) іюля. Утромъ былъ небольшой туманъ. Въ воздухѣ тишина. Послѣ 7 часовъ утра горизонтъ прояснился. Облачность въ теченіе всего дня не превышала 1. Наблюденія производились съ 6 час. утра до 6 часовъ пополудни. Наибольшее напряженіе солнечной радіаціи 1.4 калоріи было въ 1 ч. пополудни.

3(15) іюля. По утру небо было молочнаго цвѣта, къ 10 часамъ утра прояснилось. Воздухъ былъ спокоенъ въ теченіе цѣлаго дня. Наибольшее напряженіе солнечной радіаціи отмѣчено было въ 1 часъ пополудни: 1.39 калоріи. Наблюденія производились съ 6 часовъ утра до 6 часовъ вечера.

5(17) іюля. Въ теченіе всего дня воздухъ былъ спокоенъ; небо безоблачно, но нѣсколько молочнаго цвѣта. Наибольшее напряженіе солнечныхъ лучей: 1.35 калоріи было въ 8 часовъ утра. Наблюденія производились съ 6 часовъ утра до 6 часовъ вечера.

12(24) іюля. День былъ ясный, небо безоблачно; въ воздухѣ тишина. Наблюденія производились съ 6 часовъ утра до 6 часовъ вечера. Наибольшее напряженіе солнечныхъ лучей 1.39 калоріи было въ 1 часъ пополудни.

13(25) іюля. День былъ ясный, вѣтеръ съ полудня едва шелестилъ листьями деревьевъ. Наблюденія при голубомъ небѣ производились съ 8 часовъ утра до 6 часовъ пополудни. Максимумъ напряженія солнечныхъ лучей 1.43 калоріи отмѣченъ былъ въ 12 часовъ дня.

11(23) августа. Утро было прекрасное, воздухъ спокоенъ, небо безоблачно. Въ полдень стали всплывать кучевыя облака, и въ 1 часъ пополудни облачность достигла 5. Наблюденія производились съ 9 часовъ утра до 3 часовъ пополудни. Наибольшее напряженіе солнечныхъ лучей 1.22 калоріи было въ полдень.

12(24) августа. Небо поутру молочнаго цвѣта; воздухъ спокоенъ; облачность въ теченіе дня не превышала 2. Наблюденія производились съ 6 часовъ утра до 5 часовъ пополудни. Наибольшее напряженіе солнечныхъ лучей 1.35 калоріи было въ полдень.

§ 34. *Общіе выводы.* Хотя при актинометрическихъ наблюденіяхъ я пользовался секундомѣромъ, такъ что производимые отсчеты относились непосредственно къ моментамъ ударовъ секундомѣра, тѣмъ не менѣе, въ виду значительной быстроты движенія ртутнаго индекса, при отсчетахъ возможны ошибки до 0.2—0.3 дѣленія шкалы прибора. Ошибки эти, въ особенности въ началѣ, при недостаточномъ навыкѣ, тѣмъ болѣе возможны, что концы ртутнаго указателя выпуклы.

Относительно прибора Крова, при помощи котораго производились наблюденія въ 1891 году въ Павловскѣ, профессоръ Хвольсонъ говоритъ, что онъ «былъ наполненъ нечистою жидкостью, которая дѣйствовала на ртуть, вслѣдствіе чего въ резервуарѣ и даже въ самой трубкѣ накоплялась грязь. Свѣжеполученный ртутный указатель черезъ нѣсколько часовъ дѣлался мутнымъ, на его поверхности обнаруживались неровности и въ концѣ концовъ онъ распадался на большое число отдѣльныхъ капель» *).

Указанные здѣсь недостатки не замѣчались въ экземплярѣ, бывшемъ въ моемъ распоряженіи, хотя, правда, къ концу каждаго лѣта мнѣ приходилось довольно часто (но не «ежечасно», какъ это бывало въ Павловскѣ) добывать новый ртутный указатель.

Лѣтомъ 1894 г. для добыванія ртутнаго указателя я пользовался, какъ совѣтуетъ проф. Хвольсонъ **), двояко-выпуклымъ стекломъ.

Примѣненіе въ этомъ случаѣ двояко-выпуклаго стекла въ значительной степени облегчало добываніе ртутнаго индекса.

Чтобы видѣть, насколько надежны вообще результаты нашихъ наблюденій, приводимъ таблицу наблюденій, произведенныхъ нами различными методами въ промежутокъ времени, когда солнечная радіація, повидимому, оставалась наиболѣе постоянною.

---

*) О. Хвольсонъ: «О совр. сост. актинометріи», стр. 139.
**) » » » » » » стр. 140.

Наблюденія 10 (22) іюля 1894 г.

Время наблюденія	Отсчеты	r	R	θ	θ'	r''	R''	θ''	Состояніе прибора
12ч. 18'	176.2								закрытъ
19'	181.9	5.7							открытъ
20'	176.6								
21'	169.7		6.9	12.5					закрытъ
22'	173.3								
23'	178.9	5.6							
24'	183.3	4.4				10.0			открытъ
25'	177.7								
26'	169.6								
27'	162.1		7.5		11.8		15.6	12.6	закрытъ
28'	165.1								
29'	170.0								
30'	174.2	4.2				9.1			открытъ
31'	168.0								
32'	160.1								
33'	153.0		7.1		11.4		15.0	12.2	закрытъ
34'	156.6								
35'	161.6								
36'	166.0	4.4				9.4			открытъ
37'	159.8								
38'	152.3		7.5	12.3					закрытъ
39'	156.0								
40'	161.2	5.2							открытъ
41'	155.7								
42'	148.4		7.3	12.5					закрытъ
43'	152.7								
44'	157.9	5.2							

По методу Крова, какъ мы видѣли, исправленное отъ охлажденія нагрѣваніе

$$\theta = R + \frac{r_1 + r_2}{2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1),$$

при чемъ во время наблюденія опускается одна минута, непосредственно слѣдующая за открываніемъ и закрываніемъ прибора.

По этому обыкновенному методу произведены были первое и два послѣднихъ наблюденія; второе же и третье наблюденія произведены были такимъ образомъ, что послѣ каждаго открыванія и закрыванія прибора опускались не одна, а двѣ минуты.

Изъ приведенной таблицы можно видѣть, что въ первомъ наблюденіи

$$\theta = 12.5 = 6.9 + \frac{5.7 + 5.6}{2};$$

между тѣмъ во второмъ наблюденіи

$$\theta' = 11.8 = 7.5 + \frac{4.4 + 4.2}{2}.$$

Что же касается r″ и R″, то они означаютъ охлажденіе и нагрѣваніе въ теченіе двухъ послѣдующихъ минутъ, такъ что

$$\theta'' = {}^1/_2 \left\{ R'' + \frac{r_1'' + r_2''}{2} \right\},$$

почему $\theta'' = 12.6 = {}^1/_2 \left\{ 15.6 + \frac{10.0 + 9.1}{2} \right\}.$

Изъ прилагаемой таблицы получаются слѣдующія среднія значенія:

$$\theta = 12.43, \quad \theta' = 11.6, \quad \theta'' = 12.4, \quad \text{откуда}$$

$$\frac{\theta}{\theta'} = 1.072 \quad \text{и} \quad \frac{\theta}{\theta''} = 1.003.$$

Постараемся теперь найти эти же отношенія путемъ теоретическимъ.

Истинное значеніе величины θ, при обыкновенномъ способѣ наблюденія, выражается формулою профессора Хвольсона *), выведенною имъ изъ формулы (1):

$$\theta = {}^1/_2(1 - e^{-m})(3 - \delta e^{-m})\delta T_1 + {}^1/_2(1 - e^{-m})(1 - \delta e^{-m})^2 t_1 \ldots . \quad (2).$$

---

*) См. стр. 96, часть I.

Если же каждое охлажденіе и нагрѣваніе продолжается не двѣ, а три минуты, при чемъ двѣ первыя минуты опускаются, то для θ', подобно тому, какъ и для θ, получается выраженіе:

$$\theta' = {}^1/_2 e^{-m}(1-e^{-m})(3-\delta e^{-2m})\delta T_1 + {}^1/_2(1-e^{-m})(1-\delta e^{-2m})^2 t_1 \ldots (3).$$

Подобнымъ же образомъ вычисляется и θ'', а именно: *)

$$\theta'' = {}^1/_4(1-e^{-2m})\delta(3-\delta e^{-2m})T_1 + {}^1/_4(1-e^{-2m})(1-\delta e^{-2m})^2 t_1 \ldots (4),$$

при чемъ $\delta = 1-\alpha+\alpha e^{-m}$.

Въ этихъ формулахъ m означаетъ коэффиціентъ охлажденія шарика термометра; α—выражаетъ замедленіе нагрѣванія и охлажденія въ теченіе каждой первой минуты; T_1—наибольшее перемѣщеніе указателя, соотвѣтствующее стаціонарному состоянію температуры; наконецъ t_1—выраженный въ дѣленіяхъ шкалы избытокъ начальной температуры термометра надъ температурою окружающаго воздуха.

Если термометръ, имѣющій избытокъ температуры t_n, охлаждается въ теченіе нѣсколькихъ послѣдовательныхъ минутъ, то очевидно: $t_{n+1} = t_n e^{-m}$, $t_{n+2} = t_{n+1} e^{-m}$ и т. д., согласно закону Ньютона,

$$\text{откуда } e^{-m} = \frac{t_{n+2} - t_{n+3}}{t_n - t_{n+1}} \ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \ (5).$$

Вмѣстѣ съ тѣмъ $\alpha = \dfrac{t^1_1 - t_2}{t_1 - t_2}$,

т. е. равно отношенію фактически наблюдаемаго перемѣщенія указателя къ теоретическому въ теченіе первой минуты; но $t_2 = t_1 e^{-m}$,

$$\text{а потому } \alpha = \frac{t^1_1 - t_2}{e^{-m}(t_1 - t_2)} \,.\, e^{-m} = \frac{t^1_1 - t_2}{t_2 - t_3} \,.\, e^{-m} \ldots \ (6).$$

**) О. Хвольсонъ: «Совр. сост. актинометріи», стр. 79 и 80.

Для опредѣленія e^{-m} въ различные дни нами производились въ теченіе нѣсколькихъ послѣдовательныхъ минутъ наблюденія нагрѣванія и охлажденія. Изъ такихъ многочисленныхъ наблюденій мы получили въ среднемъ:

$e^{-m} = 0.8605$ .... (7),

откуда найдено было: $m = 0.1502$ .... (8).

Наконецъ при помощи формулы (6) было получено въ среднемъ

$\alpha = 0.637$ .... (9).

Вставляя эти значенія въ (2), получаемъ:

$\theta = 0.14125\, T_1 + 0.0033084\, t_1$ .... (10).

Точно также изъ формулы (3) находимъ:

$\theta' = 0.12748\, T_1 + 0.007485\, t_1$ .... (11).

Наконецъ изъ (4):

$\theta'' = 0.13785\, T_1 + 0.006961\, t_1$ .... (12).

Такъ какъ начальный избытокъ температуры t_1 во время наблюденій вообще не значителенъ въ сравненіи съ T_1, а между тѣмъ коэффиціенты при t_1 гораздо меньше коэффиціентовъ при T_1, то мы можемъ пренебречь вторыми членами, и въ такомъ случаѣ получимъ:

$$\frac{\theta}{\theta_{\prime}} = 1.108 \quad \text{и} \quad \frac{\theta}{\theta''} = 1.024.$$

Если въ означенный промежутокъ времени, въ теченіе котораго произведены были всѣ пять наблюденій, солнечная радіація на самомъ дѣлѣ оставалась постоянною, то, конечно, результаты наблюденій слѣдуетъ считать согласными съ теоретическими выводами.

Но измѣненія въ показаніяхъ прибора въ данномъ случаѣ, быть можетъ, обусловливались не однимъ только измѣненіемъ метода наблюденій, а также и измѣненіемъ самого напряженія солнечной радіаціи. Лѣтомъ 1894 года нами сдѣлано было весьма много попытокъ къ произведенію наблюденій

двумя различными методами: съ опусканіемъ то одной, то двухъ минутъ послѣ каждаго открыванія и закрыванія прибора.

Большинство изъ этихъ наблюденій оказались несравнимыми между собою, вслѣдствіе очевиднаго измѣненія самого напряженія солнечной радіаціи въ данные промежутки времени. Наблюденія 10-го іюля принадлежатъ къ наиболѣе удачнымъ.

Такъ какъ истинное нагрѣваніе термометра

$$\theta_0 = m\, T_1 = 0.1502\, T_1 ,$$

а опредѣляемое по методу Крова можно считать равнымъ:

$$\theta = 0.1413\, T_1 ,$$

но отсюда приходимъ къ заключенію, что нагрѣваніе, опредѣляемое при помощи нашего прибора, по методу Крова, ниже истиннаго въ среднемъ всего только на 6.3%.

Эта поправка и была нами введена при разработкѣ полученнаго путемъ наблюденій матеріала; но величина этой погрѣшности во всякомъ случаѣ должна быть подвержена значительнымъ колебаніямъ, такъ какъ коэффиціентъ охлажденія m, а также замедленіе α, отъ котораго зависитъ численное значеніе θ, сильно измѣняются даже въ теченіе небольшихъ промежутковъ времени.

Весьма возможно, что причина этого явленія заключается въ измѣненіяхъ гигроскопическихъ свойствъ поверхностнаго слоя сажи нагрѣваемаго термометра *); однако не оказалось возможнымъ сдѣлать какіе-либо выводы въ этомъ отношеніи на основаніи произведенныхъ нами актинометрическихъ наблюденій.

Двѣ причины, по всей вѣроятности, сильно вліяютъ на показанія актинометра Крова: вѣтеръ и незащищенная отъ температурныхъ измѣненій металлическая оболочка прибора. Къ такому выводу, мнѣ кажется, должны привести продолжительныя наблюденія при помощи актинометра Крова; но доказать на самомъ дѣлѣ вліяніе этихъ двухъ причинъ, конечно, воз-

---

*) См. стр. 154, часть I.

можно было бы только при помощи прибора, дающаго вполнѣ надежныя показанія.

Что же касается прибора Араго-Дави, то онъ едва-ли можетъ служить для того, чтобы указывать постоянство или непостоянство солнечной радіаціи.

Во первыхъ актинометры Крова и Араго-Дави измѣряютъ не одну и туже радіацію. Послѣдній приборъ измѣряетъ полное количество лучистой теплоты, получаемой какъ непосредственно отъ солнца, такъ и отраженной отъ всего небеснаго свода, и уже по этой причинѣ одни и тѣже измѣненія въ напряженіи солнечныхъ лучей не могутъ въ одинаковой степени обнаруживаться на обоихъ приборахъ, а необходимо слабѣе на показаніяхъ актинометра Монсури. Сверхъ того приборъ Крова несомнѣнно гораздо чувствительнѣе прибора Араго-Дави. Измѣненія солнечной радіаціи, обусловливаемыя кратковременнымъ покрытіемъ солнечнаго диска легкими облаками, почти немедленно отражаются на показаніяхъ актинометра Крова, а на приборъ Араго они или не производятъ никакого дѣйствія, или же весьма ничтожныя. Такъ, напримѣръ, $^{7}/_{19}$ августа 1891 г. въ 10 ч. утра легкія облака проходили передъ солнечнымъ дискомъ. Актинометръ Крова вслѣдствіе этого показалъ пониженіе радіаціи на 6%, приборъ же Араго-Дави въ тоже время оставался въ своихъ показаніяхъ неизмѣннымъ, и только при слѣдующемъ наблюденіи въ 10 ч. 8 минутъ показанія его понизились на 2.4%. Точно также $^{10}/_{22}$ августа 1891 г. въ 11 часовъ утра, вслѣдствіе такого же прохожденія легкихъ облаковъ мимо солнца, актинометръ Крова показывалъ, противъ наблюденія въ 10 ч. 40 м., пониженіе радіаціи на 3.9%, приборъ же Монсури—усиленіе на 2.6%.

Такимъ образомъ постоянство показаній прибора Араго-Дави не можетъ служить доказательствомъ неизмѣняемости напряженія радіаціи, получаемой непосредственно отъ солнца, такъ какъ приборъ этотъ вообще мало чувствителенъ къ бы-

стрымъ и незначительнымъ варіаціямъ лучистой энергіи. Если къ этому прибавить, что на показанія прибора Монсури имѣютъ огромное вліяніе бѣлыя, въ особенности кучевыя облака, нерѣдко отражающія къ землѣ значительное количество теплоты, то отсюда легко прійти къ заключенію, что между показаніями обоихъ приборовъ не можетъ быть никакой пропорціональности, въ особенности въ дни, когда небо хотя отчасти покрыто облаками. Профессоръ Коли, производя одновременныя наблюденія помощью актинографа, основаннаго на томъ же принципѣ, какъ и актинометръ Араго-Дави, и ртутнаго пиргеліометра Крова, даже въ совершенно безоблачные дни не могъ найти пропорціональности въ показаніяхъ этихъ приборовъ.

Точно также и профессоръ Хвольсонъ, произведя большое число одновременныхъ измѣреній съ актинометрами Крова и Араго-Дави, не имѣлъ возможности воспользоваться накопленнымъ матеріаломъ. Настолько же тщетны были и всѣ наши попытки воспользоваться результатами одновременныхъ наблюденій при помощи этихъ двухъ приборовъ.

Но кромѣ этихъ причинъ есть еще много другихъ, вслѣдствіе которыхъ показанія приборовъ Араго-Дави не могутъ соотвѣтствовать показаніямъ другихъ актинометровъ. Главнѣйшая изъ нихъ—неравномѣрное нагрѣваніе зачерненнаго и блестящаго термометровъ, а также самихъ стеклянныхъ оболочекъ.

Если θ и θ_1 температуры вычерненнаго и блестящаго термометровъ, θ' температура тѣни, то, очевидно *), для точности показаній прибора необходимо, чтобы отношеніе количествъ теплоты, поглощаемыхъ обоими термометрическими шариками, оставалось постояннымъ.

По наблюденіямъ профессора Хвольсона въ Павловскѣ отношеніе это $b=\frac{\theta_1-\theta'}{\theta-\theta'}$ всегда оказывалось большимъ около полудня.

---

*) См. стр. 165, часть I.

Тоже самое можно видѣть по наблюденіямъ, произведеннымъ на Большомъ Фонтанѣ въ 1891 году, какъ показываютъ приложенныя таблицы: XI, XII, XIII и XIV.

Въ этихъ таблицахъ приведены разности $\theta - \theta_1$ отсчетовъ, произведенныхъ во время наблюденій на вычерненномъ и блестящемъ термометрахъ. Кромѣ того, такъ какъ въ началѣ и въ концѣ каждаго наблюденія производились еще отсчеты на особомъ термометрѣ, находящемся въ тѣни, то среднее изъ каждыхъ двухъ такихъ наблюденій давало температуру тѣни θ', значенія которой приведены въ первой графѣ нашихъ таблицъ. Во второй графѣ приведены относительныя значенія солнечной радіаціи по методу Гершеля, въ третьей—таже радіація, измѣряемая по методу Араго-Дави; въ четвертой—отношеніе обоихъ значеній, т. е. $a = \frac{\theta - \theta'}{\theta - \theta_1}$, въ пятой—отношеніе количествъ теплоты b, поглощаемыхъ вычерненнымъ и блестящимъ термометрами. Далѣе приведены значенія a_1, b_1 и a_2, b_2, соотвѣтствующія a и b, согласно теоріямъ Ферреля и Слугинова.

Всѣ эти таблицы показываютъ, что числа a и b (и имъ соотвѣтственныя) больше для наблюденій, произведенныхъ среди дня, нежели для вечернихъ и утреннихъ часовъ, а потому можно считать несомнѣннымъ, что *около полудня нагрѣваніе блестящаго термометра, сравнительно съ нагрѣваніемъ зачерненнаго, значительно больше, нежели утромъ и вечеромъ.*

Феррель, какъ мы видѣли *), первый пытался опредѣлить въ абсолютныхъ единицахъ величину напряженія солнечной радіаціи по отсчетамъ двухъ термометровъ, изъ которыхъ одинъ находится на солнцѣ, а другой въ тѣни.

Съ этою цѣлью имъ была примѣнена формула Дюлонга и Пти:

$$J = \frac{B}{\rho}\left(\mu^{\tau} - \mu^{\tau'}\right) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1).$$

---

*) См. стр. 159, часть I.

Полагая $\rho = {}^1/_4$ и $B = 1.0848$ (согласно опытамъ Николя), получимъ слѣдующее выраженіе для количества теплоты, падающей на единицу поверхности въ одну минуту:

$$J = 4.3392\left(\mu^{\tau} - \mu^{\tau'}\right) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2).$$

Если въ формулѣ (1) положить, согласно Пулье, $B = 1.146$, то получимъ:

$$J = 4.584\ \left(\mu^{\tau} - \mu^{\tau'}\right) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3).$$

Но по опытамъ Стефана *), каждый квадратный сантиметръ вычерненной поверхности, находящейся при температурѣ 100^0, теряетъ въ одну минуту одну калорію, если температура оболочки 0^0. Поэтому по формулѣ:

$$1 = B(\mu^{100} - \mu^0)$$

находимъ: $B = 0.8670$.

Внося послѣднее значеніе B въ формулу (1), получимъ:

$$J = 3.468\ \left(\mu^{\tau} - \mu^{\tau'}\right) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4).$$

Маурэръ измѣнилъ формулу Ферреля тѣмъ, что вмѣсто закона Дюлонга и Пти ввелъ законъ Стефана, такъ что **) вмѣсто (1) будемъ имѣть:

$$J\rho = B\left\{\left(1 + \frac{t}{273}\right)^4 - \left(1 + \frac{t'}{273}\right)^4\right\} \ldots\ldots\ldots \quad (5).$$

Но по формулѣ Стефана ***):

$$W = A\ \{\ (273 + t)^4 - (273 + t_0)^4\ \}.$$

---

*) См. стр. 59, часть I.
**) См. стр. 162, часть I.
***) См. стр. 55, часть I.

Полагая $W=1$ для $t=100^{\circ}$ и $t_0=0^{\circ}$, находимъ:

$$A=7.26\times10^{-11}.$$

Поэтому:

$$J\rho=0.403\ \{(1+0.00366t)^4-(1+0.00366t')^4\},$$

такъ какъ $B=273^4.\ A=273^4\times7.26\times10^{-11}=0.403.$

Такимъ образомъ по формулѣ Маурера:

$$J=1.612\{(1+0.00366t)^4-(1+0.00366t')^4\}\ldots.(6).$$

При помощи всѣхъ этихъ формулъ: Ферреля—Николя (2), Ферреля—Пулье (3), Ферреля—Стефана (4) и Маурера—Стефана (6) была опредѣлена нами въ абсолютныхъ единицахъ полная радіація въ дни наблюденій, какъ это можно видѣть изъ таблицъ: XIV, XV, XVI и XVII.

Тамъ же приведены напряженія солнечныхъ лучей, опредѣляемыя при помощи актинометра Крова.

Изъ этихъ таблицъ можно видѣть, что формулы: Феррель—Стефанъ и Мауреръ—Стефанъ не соотвѣтствуютъ дѣйствительности, такъ какъ вычисленныя по этимъ формуламъ напряженія полной радіаціи оказываются въ большинствѣ случаевъ ниже, нежели одновременныя напряженія солнечныхъ лучей, измѣренныя по методу Крова. Остальныя двѣ формулы: Феррель—Пулье и Феррель—Николь болѣе или менѣе удовлетворительно выражаютъ напряженіе полной радіаціи въ абсолютныхъ единицахъ, такъ какъ найденныя при помощи этихъ формулъ числа согласуются съ теоретическими выводами Клаузіуса, по которымъ разсѣянный свѣтъ приблизительно составляетъ четвертую часть нормальной силы солнечныхъ лучей *).

Какая именно изъ послѣднихъ двухъ формулъ наилучше выражаетъ полную радіацію небеснаго свода, на основаніи полученнаго матеріала рѣшить трудно, такъ какъ въ тѣ дни, когда производились наблюденія, небо не было вполнѣ чисто, свободно отъ облаковъ.

---

*) См. стр. 247, часть I.

Что же касается поглощенія солнечныхъ лучей земною атмосферою, то, въ виду новѣйшихъ изслѣдованій Лехера и Ангстрема, мы считали необходимымъ отдѣльно разсматривать ту часть солнечной радіаціи, которая преимущественно поглощается углекислотою воздуха.

Такимъ образомъ мы пользовались формулою:

$$i = A_1 p_1^d + A_2 p_2^d \qquad (1).$$

Такъ какъ при этомъ изъ наблюденій, производимыхъ при низкихъ стояніяхъ солнца, по простой формулѣ Бугера для A_1 и p_1 получались въ среднемъ числа, весьма близкія къ значеніямъ, найденнымъ Ангстремомъ (1.565 и 0.785), то для теоретическаго опредѣленія напряженія солнечныхъ лучей при различной толщинѣ атмосферы, примѣнена была непосредственно формула Ангстрема:

$$i = 1.56 \times 0.786^d + 2.45 \times 0.134^d \qquad (2),$$

гдѣ 0.134 найденный Ангстремомъ коэффиціентъ теплопрозрачности для той части солнечной радіаціи, которая наиболѣе поглощается углекислотою.

Длина лучей въ атмосферѣ опредѣлялась нами по простой формулѣ секансовъ для зенитныхъ разстояній солнца, меньшихъ 65°; для зенитныхъ же разстояній, большихъ 65°, мы, по примѣру Лангле, пользовались формулою Ламберта:

$$d = \frac{0.0174 \times \text{табличн. рефр.}}{\sin z} \qquad (3).$$

Зенитное же разстояніе солнца z вычислялось по формулѣ:

$$\cos z = \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos t \qquad (4),$$

при чемъ для φ взята была широта г. Одессы: $46^\circ 28' 36''$, а склоненіе солнца δ всякій разъ опредѣлялось изъ «The nautical almanac and astronomical ephemeris» (1890, 1891, 1894).

Для опредѣленія средней рефракціи служили: «Tabulae refractionum in usum speculae pulcovensis congestae».

Первыя одиннадцать таблицъ, помѣщенныхъ въ приложеніи, содержатъ:

1. Время наблюденій. Здѣсь приведены третьи секунды, считая отъ начала каждаго наблюденія, т. е. когда опредѣлялось перемѣщеніе ртутнаго указателя подъ вліяніемъ солнечныхъ лучей. Указанное здѣсь время—среднее, гражданское, но для опредѣленія часового угла въ данный моментъ, при помощи уравненій времени, помѣщенныхъ въ «the nautical almanac», вычислялось истинное солнечное время.

Что же касается счета во время наблюденій отдѣльныхъ секундъ, то, какъ было уже сказано, употреблялся секундомѣръ, отчетливо выбивающій секунды. Обыкновенно за пять секундъ до конца каждой минуты, слѣдя внимательно за ходомъ ртутнаго указателя прибора, я начиналъ считать секунды вслухъ, что давало возможность точно отсчитывать показанія индекса въ моментъ окончанія каждой секунды.

2. Напряженіе солнечныхъ лучей, вычисленное по формулѣ Ангстрема, при чемъ i_1 означаетъ ту часть солнечной радіаціи, которая слабо поглощается углекислотою; i_2—преимущественно поглощаемую углекислотою воздуха; $J = i_1 + i_2$—полное напряженіе солнечныхъ лучей въ абсолютныхъ единицахъ.

3. Наблюденное при помощи актинометра Крова и увеличенное на 6% напряженіе сулнечныхъ лучей въ калоріяхъ, т. е. число тепловыхъ единицъ, получаемыхъ въ одну минуту квадратнымъ сантиметромъ, при перпендикулярномъ паденіи лучей.

4. Состояніе неба во время наблюденій, при чемъ облачность опредѣлялась по инструкціи, данной Императорскою Академіею Наукъ въ руководство метеорологическимъ станціямъ, т. е. по десяти степенямъ. Такимъ образомъ 0 означаетъ почти безоблачное небо, т. е. небо, покрытое облаками менѣе, чѣмъ на половину десятой его части, 10—небо, совершенно покры-

тое облаками; 1, 2, 3 и т. д.—различныя промежуточныя состоянія облачности.

5. Зенитное разстояніе солнца въ моменты наблюденій.

Относительно облачности необходимо замѣтить слѣдующее.

Числа, выражающія облачность, вообще мало соотвѣтствуютъ теплопрозрачности воздуха. Въ жаркіе лѣтніе, повидимому, совершенно безоблачные дни напряженіе солнечныхъ лучей обыкновенно бываетъ значительно слабѣе, нежели въ такіе дни, когда къ полудню образуются кучевыя облака, съ рѣзко очерченными формами на темно-голубомъ фонѣ. Между такими облаками весьма часто встрѣчаются значительные промежутки необыкновенно чистаго синяго неба, отличающіеся наибольшею теплопрозрачностью для солнечной радіаціи. Черезъ такіе голубые промежутки часто весьма свободно можно производить актинометрическія измѣренія, нетребующія болѣе пяти минутъ.

Напротивъ, въ безоблачные, повидимому, дни, когда состояніе неба хотя и отмѣчено 0, часто теплопрозрачность воздуха весьма не значительна. Въ такіе дни небо обыкновенно бываетъ нѣсколько бѣловатаго, или молочнаго цвѣта.

Къ такимъ выводамъ необходимо долженъ прійти всякій наблюдатель, болѣе или менѣе продолжительное время занимающійся измѣреніемъ солнечной радіаціи. Эти же выводы вполнѣ подтверждаются и нашими наблюденіями.

Такъ, напримѣръ, 30 іюня 1890 г. (считая по новому стилю) хотя небо оставалось, повидимому, чистымъ отъ восхода до солнечнаго заката, тѣмъ не менѣе оно имѣло нѣсколько бѣловатый оттѣнокъ, вслѣдствіе чего среди дня напряженіе солнечныхъ лучей было весьма не значительно, такъ что въ полдень сдѣланъ былъ перерывъ въ наблюденіяхъ.

Наибольшее напряженіе солнечной радіаціи 1.28 калоріи, найденное въ 11 часовъ утра, значительно ниже теоретическаго въ тотъ же часъ 1.45. Послѣ полудня измѣренныя напряженія гораздо ближе къ теоретическимъ.

Тоже самое нужно сказать и относительно наблюденій 1-го іюля 1890 года. Въ этотъ день наблюденія производились почти непрерывно съ утра до 1 ч. 15 м. пополудни, хотя внесены въ таблицу только относящіяся къ началу каждаго часа.

Послѣ десяти часовъ утра напряженіе солнечной радіаціи значительно понизилось, вслѣдствіе чего обнаружился второстепенный максимумъ въ 10 ч. утра; но къ полудню напряженіе достигло наибольшей своей величины 1.41 калоріи, которая все таки была ниже теоретически найденной для того же часа 1.47.

День 3-го іюля 1890 года былъ наиболѣе благопріятнымъ для актинометрическихъ наблюденій. Кривая, выражающая ходъ напряженія солнечной радіаціи, для этого дня симметрична относительно полудня, и максимумъ напряженія достигъ 1.41 калоріи. Но 28 и 29 іюля наблюдалось сильное пониженіе солнечной радіаціи. Дни эти предшествовали обильному дождю, сопровождавшему грозу 31-го іюля 1890 года.

Такимъ образомъ въ продолженіе цѣлаго ряда дней въ іюлѣ 1890 года, не смотря на видимую чистоту небеснаго свода, атмосфера оставалась мало-прозрачною для солнечной радіаціи, пока, наконецъ, не разразилась гроза съ обильнымъ дождемъ 31 іюля въ часъ пополудни. Совершенно другое явленіе наблюдалось 2 августа того же 1890 года. Хотя въ 1 часъ пополудни облачность, достигнувъ 5, препятствовала наблюденіямъ, но за то въ другіе часы голубые промежутки между рѣзко-очерченными формами кучевыхъ облаковъ давали полную возможность производить наблюденія, и въ эти часы измѣренныя напряженія солнечной радіаціи довольно близки къ теоретическимъ, при чемъ максимумъ солнечнаго напряженія 1.43 калоріи былъ въ полдень.

Такое же удовлетворительное согласіе наблюденныхъ напряженій съ теоретическими замѣчается 20 сентября 1890 г.,

когда голубое небо въ теченіе цѣлаго дня оставалось свободнымъ отъ облаковъ. Наконецъ 25 іюля 1894 года день былъ ясный, и воздухъ отличался наибольшею теплопрозрачностью. Измѣренныя въ этотъ день напряженія солнечной радіаціи также довольно близки къ теоретическимъ.

На основаніи всего этого мы приходимъ къ заключенію, что *въ тѣ дни, когда воздухъ отличается наибольшею теплопрозрачностью, измѣренныя напряженія солнечной радіаціи находятся въ удовлетворительномъ согласіи съ теоретическими, вычисленными по формулѣ Ангстрема.*

Въ тѣ же дни, когда водяные пары, находящіеся въ достаточномъ количествѣ въ атмосферѣ, не конденсируются въ отдѣльныя кучевыя облака, а придаютъ всему небесному своду грязный, бѣловатый оттѣнокъ, измѣренныя напряженія вообще разнятся отъ теоретическихъ. Въ этомъ случаѣ, по всей вѣроятности, получилось бы большее согласіе съ теоретическими выводами, если бы примѣнена была трехчленная формула, т. е. если бы выдѣлена была та часть солнечной энергіи, которая преимущественно поглощается водянымъ паромъ.

Такимъ образомъ формула Ангстрема вообще заслуживаетъ вниманія. Правда, опредѣляемое по этой формулѣ напряженіе солнечныхъ лучей на границѣ нашей атмосферы (4 калоріи) не соотвѣтствуетъ выводамъ Лангле; но послѣдній не принималъ во вниманіе поглощенія солнечной энергіи углекислотою воздуха. Весьма возможно, что въ солнечной радіаціи есть и такіе лучи, которые совершенно не пропускаются земною атмосферою, а въ такомъ случаѣ значеніе солнечной постоянной должно быть гораздо выше 3 калорій.

Въ заключеніе воспользуемся имѣющимися у насъ данными относительно солнечныхъ пятенъ изъ «Results of the Spectroscopic and Photographic Observations made at the Royal Observatory, Greenwich», за 1890 и 1891 годы.

	Сред. напр. солн. рад.	Тѣнь (Umbra).	Все пятно (Whole Spot).
1890 г. 30 іюня . .	0.802	0	0
» » 1 іюля . .	1.339	0	0
» » 14 августа	1.082	0	0
1891 г. 30 іюня . .	1.015	200	1203
» » 1 іюля . .	1.161	208	1148
» » 14 августа	1.119	107	654

Въ этой таблицѣ приведены среднія напряженія солнечной радіаціи изъ наблюденій въ одни и тѣже часы дня, а площади пятенъ выражены въ милліонныхъ доляхъ видимаго солнечнаго диска.

Такъ какъ не только въ указанные здѣсь дни, но и въ предшествующіе, а также и за ними непосредственно слѣдующіе, въ 1891 году наблюдалось значительное количество солнечныхъ пятенъ и совершенно противоположное явленіе въ 1890 г., то, очевидно, основное положеніе теоріи Фрелиха *) въ данномъ случаѣ не подтверждается.

Различіе въ напряженіи солнечной радіаціи, безъ сомнѣнія, обусловливается здѣсь неодинаковою прозрачностью атмосферы, но никакъ не количествомъ солнечныхъ пятенъ.

Резюмируемъ выводы, полученные нами изъ актинометрическихъ наблюденій на Большомъ Фонтанѣ.

1. Для прибора Крова, посредствомъ котораго производились нами актинометрическія наблюденія, найдены были среднія значенія: коэффиціента охлажденія m: 0.1502 и замедленія α: 0.637.

2. Опыты показали, что эти коэффиціенты сильно измѣняются даже въ теченіе небольшихъ промежутковъ времени.

По всей вѣроятности, причину этого явленія слѣдуетъ искать въ измѣненіяхъ гигроскопическихъ свойствъ поверхностнаго слоя сажи нагрѣваемаго термометра, что впрочемъ не могло быть выяснено на основаніи произведенныхъ наблюденій.

---

*) См. стр. 91, часть II.

3. Наблюденія, произведенныя различными методами въ промежутокъ времени, въ теченіе котораго солнечная радіація повидимому оставалась постоянною, показали вообще удовлетворительное согласіе теоретическихъ выводовъ съ наблюденными, вслѣдствіе чего возможно допустить, что нагрѣванія, опредѣляемыя при помощи нашего прибора по методу Крова, ниже дѣйствительныхъ всего только на 6.3%.

4. Насколько въ дѣйствительности солнечная радіація оставалась во время этихъ сравнительныхъ наблюденій постоянною—судить весьма трудно, такъ какъ постоянство показаній актинометра Араго-Дави, прибора вообще мало чувствительнаго къ незначительнымъ и быстрымъ варіаціямъ, не можетъ служить доказательствомъ неизмѣняемости напряженія солнечныхъ лучей.

5. Показанія прибора Араго-Дави вообще не сравнимы съ показаніями актинометра Крова, такъ какъ оба прибора измѣряютъ не одну и туже радіацію, и при этомъ около полудня нагрѣваніе блестящаго термометра, въ сравненіи съ нагрѣваніемъ зачерненнаго, значительно больше, нежели утромъ и вечеромъ.

6. Формулы: Ферреля—Пулье и Ферреля—Николя болѣе или менѣе удовлетворительно выражаютъ въ абсолютныхъ единицахъ напряженіе полной радіаціи, измѣряемой помощью радіаціонныхъ термометровъ.

7. Въ жаркіе лѣтніе дни, совершенно, повидимому, безоблачные, напряженіе солнечныхъ лучей значительно слабѣе, нежели въ такіе дни, когда къ полудню образуются кучевыя облака съ рѣзко очерченными формами на темно-голубомъ небѣ.

8. Въ такіе дни, когда солнечные лучи, при значительной прозрачности голубого неба, свободно проникаютъ къ земной поверхности, измѣренныя напряженія довольно близки къ теоретическимъ, вычисленнымъ по формулѣ Ангстрема.

9. Такъ какъ формула Ангстрема вообще удовлетворительно выражаетъ ходъ измѣненій солнечной радіаціи съ толщиною проходимой атмосферы, то необходимо прійти къ заключенію, что напряженіе солнечныхъ лучей (солнечная постоянная) на границѣ земной атмосферы должно быть не менѣе 4 калорій.

10. Наблюденія, произведенныя въ соотвѣтственные дни 1890 и 1891 гг., не обнаруживаютъ никакой связи между напряженіями солнечной радіаціи и количествомъ солнечныхъ пятенъ.

ГЛАВА XV.

Общее заключеніе.

§ 35. Въ то время, какъ Тиндалль, на основаніи своихъ экспериментальныхъ изслѣдованій, пришелъ къ заключенію объ огромномъ поглощеніи тепловой энергіи водянымъ паромъ, метеорологи, съ своей стороны, помощью актинометрическихъ наблюденій пытались опредѣлить поглощеніе солнечныхъ лучей атмосферою, въ зависимости отъ количества находящихся въ ней водяныхъ паровъ. Съ этою цѣлью Соре и Дезенъ, измѣряя помощью своихъ приборовъ напряженіе солнечныхъ лучей, заставляли ихъ предварительно проходить черезъ слой воды, опредѣленной толщины. Кромѣ такихъ сравнительныхъ измѣреній, съ тою же цѣлью производились одновременныя актинометрическія наблюденія на различныхъ высотахъ надъ уровнемъ моря. Дезенъ, полагая, что водяной паръ оказываетъ на солнечные лучи такое же поглощательное дѣйствіе, какъ и равная ему масса воды въ жидкомъ состояніи, считалъ возможнымъ, посредствомъ подобныхъ наблюденій, опредѣлить вѣсовое количество водяного пара, содержащагося въ опредѣленной колоннѣ воздуха.

Съ своей стороны и Віолль, при помощи одновременныхъ актинометрическихъ наблюденій на различныхъ высотахъ, пытался опредѣлить вѣсъ водяного пара, содержащагося въ воздухѣ, отъ предѣловъ атмосферы до мѣста наблюденія.

Всѣ эти наблюденія, хотя въ значительной степени и пополнили изслѣдованія Пулье относительно солнечной радіаціи, тѣмъ не менѣе не могли служить для выводовъ относительно суточнаго и годового хода измѣненій солнечнаго лучеиспусканія.

Только благодаря систематическимъ наблюденіямъ профессора Крова впервые опредѣлены были какъ дневныя, такъ и годовыя колебанія солнечной радіаціи.

Вмѣстѣ съ тѣмъ, измѣряя площади часовыхъ кривыхъ, профессоръ Крова впервые, на основаніи непосредственныхъ наблюденій, сталъ опредѣлять въ абсолютныхъ единицахъ количество всей теплоты, получаемой квадратнымъ сантиметромъ въ теченіе цѣлаго дня.

Еще болѣе точные выводы относительно колебаній солнечной радіаціи въ теченіе дня, а также и цѣлаго года, почены были Крова на основаніи показаній регистрирующаго актинометра.

Въ то же время Гудайлемъ сдѣланы были весьма любопытные выводы относительно годового хода солнечной радіаціи въ Монпелье, на основанія актинометрическихъ наблюденій Крова *). Принимая для солнечной постоянной 2.4 калоріи, Гудайль, на основаніи актинометрическихъ наблюденій въ Монпелье съ 1881 по 1885 г., опредѣлилъ среднюю теплопрозрачность атмосферы для каждаго мѣсяца въ отдѣльности, а отсюда и теоретическое количество тепла, получаемаго каждымъ квадратнымъ сантиметромъ горизонтальной поверхности въ теченіе цѣлаго дня каждаго мѣсяца, если бы солнце безпрепятственно посылало лучи на землю отъ своего восхода до

*) Houdaille: «Marche annuelle de la radiation solaire sous climat de Montpellier 1883—1885».

заката. Наконецъ, на основаніи наблюденій съ 1883 по 1885 г. въ Ecole d'agriculture помощью прибора Кембеля, найдены были отношенія дѣйствительной къ теоретической продолжительности солнечнаго сіянія. Умножая раньше найденныя числа на соотвѣтственныя отношенія, Гудайль нашелъ количсства калорій, на самомъ дѣлѣ полученныхъ квадратнымъ сантиметромъ въ Монпелье въ теченіе отдѣльныхъ дней.

Приводимъ таблицу, показывающую количества теплоты, полученной каждымъ квадратнымъ сантиметромъ горизонтальной поверхности въ Монпелье въ отдѣльные годы.

Годы.	Зима.	Весна.	Лѣто.	Осень.	Годъ.
1883	8235	25788	32265	18180	84468
1884	8181	19924	26678	19998	74781
1885	6030	18051	27630	8635	60346

Такимъ образомъ количество тепла, получаемаго въ теченіе цѣлаго года въ Монпелье, уменьшилось съ 1883 по 1885 г. на 24122 калорій. Слабая радіація 1885 года объясняется чрезвычайною дождливостью этого года, особенно во время осени, когда въ Монпелье получено было всего около половины тепла прежнихъ лѣтъ.

Въ слѣдующемъ своемъ мемуарѣ Гудайль *) подробно излагаетъ принятый имъ методъ для приблизительнаго опредѣленія количества теплоты, получаемой квадратнымъ сантиметромъ горизонтальной поверхности.

Гудайль для этого пользуется таблицами Анго **), въ которыхъ дается количество теплоты, получаемой горизонтальною поверхностью въ различные мѣсяцы года, въ различныхъ широтахъ и при различной прозрачности атмосферы.

На основаніи этихъ таблицъ легко составить себѣ хотя приблизительное понятіе о количествѣ получаемаго тепла, въ виду

*) Houdaille: «Note sur une mèthode d'élevation approchée de la quantité de chaleur solaire reçue sur un centimètre carré d'un sol horizontal». Montpellier. 1891.

**) Annales du Bureau central météorologique, 1883.

того, что постоянныя актинометрическія наблюденія въ настоящее время еще чрезвычайно рѣдки. Для этого нужно только, взявъ средній коэффиціентъ прозрачности атмосферы, соотвѣтствующій данному мѣсяцу, отыскать въ таблицахъ Анго число получаемыхъ калорій и умножить его на отношеніе инсоляціи дѣйствительной къ теоретической.

Подобные же выводы сдѣланы были и г. Савельевымъ для г. Кіева. По выводамъ г. Савельева коэффиціентъ прозрачности атмосферы равенъ приблизительно зимою 0.8, а лѣтомъ 0.6, такъ что прозрачность воздуха въ Кіевѣ оказывается большею, нежели въ Монпелье.

Нечего и говорить, какой огромный интересъ могутъ имѣть подобные выводы, какъ для теоретической, такъ и практической метеорологіи, а между тѣмъ какъ еще скудны въ этомъ отношеніи наши свѣдѣнія!

Если приборы Крова и имѣютъ извѣстные недостатки, во всякомъ случаѣ они весьма удобны для постоянныхъ наблюденій, которыя, при большемъ своемъ распространеніи, могли бы дать съ достаточною точностью чрезвычайно важные выводы относительно распредѣленія солнечной теплоты въ различныхъ широтахъ земного шара.

Но солнце посылаетъ къ намъ чрезвычайно разнообразные лучи, поглощаемые не въ одинаковой степени земною атмосферою. Только спектро-болометрическія изслѣдованія Лангле дали возможность ближе подойти къ рѣшенію вопроса о напряженіи солнечной радіаціи на границѣ земной атмосферы.

Дальнѣйшій шагъ въ этомъ направленіи сдѣланъ былъ Ангстремомъ, который принялъ также во вниманіе невидимую часть солнечнаго спектра, преимущественно поглощаемую углекислотою воздуха.

Однако изслѣдованіями Лангле и Ангстрема далеко не исчерпывается вопросъ о свойствахъ лучистой энергіи нашего свѣтила.

§ 36. Солнце въ числѣ безконечно разнообразныхъ волнъ посылаетъ къ намъ и такіе лучи, которые, по всей вѣроятности, обусловливаютъ явленія атмосфернаго электричества, грозъ и сѣверныхъ сіяній.

Въ 1885 году Альбертъ Нодонъ, подвергнувъ дѣйствію солнечныхъ лучей изолированную металлическую пластинку, соединенную съ электромеромъ, обнаружилъ на ней присутствіе положительнаго электричества. Опытъ хорошо удавался, какъ при дѣйствіи солнечныхъ лучей, такъ и искусственнаго свѣта, богатаго ультра-фіолетовыми лучами.

Это открытіе Нодона оставалось безъ вниманія до 1887 года, когда Герцъ *) нашелъ, что ультра-фіолетовые лучи способствуютъ электрическимъ разрядамъ проводниковъ.

Вскорѣ послѣ этого Гальваксъ **) показалъ, что находящееся на поверхности проводника отрицательное электричество разсѣивается въ воздухѣ подъ вліяніемъ падающихъ на эту поверхность лучей свѣта большой преломляемости.

Профессоръ Столѣтовъ ***), произведя рядъ интересныхъ опытовъ, доказалъ существованіе непрерывнаго электрическаго тока въ металлической цѣпи, имѣющей разрывъ въ воздухѣ, при освѣщеніи ультра-фіолетовыми лучами отрицательнаго конца прерванной цѣпи. Явленія эти и названы были профессоромъ Столѣтовымъ *актиноэлектрическими*.

Актиноэлектрическими явленіями занимались также многіе другіе ученые ****).

Изслѣдованія эти показали, что актиноэлектрическіе лучи хорошо проходятъ сквозь воду, воздухъ и кварцъ, но стекло совершенно для нихъ не прозрачно.

*) Hertz. Wied. Ann., t. XXXI, p. 983; 1887.

**) Hallwachs. Wied. Ann., t. XXXIII, p. 301, 1888.

***) А. Г. Столѣтовъ. Актиноэлектрическія явленія. Спб. 1889. См. также журналъ «Физич. Общ.», выпуски 2, 7, 8, 1889 г., гдѣ помѣщены работы по этому вопросу профессоровъ Столѣтова и Боргмана.

****) Lenard et Wolff. Wied. Ann., t. XXXVII, p. 443.
Blondlot et Bichat. Comptes Rendus, t. CVI, p. 1349, CVII, p. 29.
Branly. Séances de la Société française de Physique, juillet 1891.

Актиноэлектрическая радіація солнца изслѣдовалась Эльстеромъ и Гейтелемъ, которые примѣняли для этой цѣли особый приборъ «электро-актиноскопъ» *).

Эльстеръ и Гейтель производили наблюденія на различныхъ высотахъ, а именно: въ Вольфенбюттелѣ (80 м. надъ уровнемъ моря), на горѣ Кольмъ-Сайгурнъ (1600 м.) и на вершинѣ Зонблика (3100 м.). Попытка ихъ опредѣлить коэффиціентъ прозрачности атмосферы для этого рода лучей, при помощи простой логариѳмической формулы, оказалась тщетною, въ виду того, что различные слои атмосферы чрезвычайно различное оказываютъ на нихъ дѣйствіе.

Актиноэлектрическая радіація весьма сильно измѣняется въ теченіе года. Наибольшее напряженіе ея бываетъ въ іюнѣ, а наименьшее—въ декабрѣ, при чемъ лѣтомъ напряженіе актиническихъ лучей почти въ двадцать разъ больше, нежели въ зимою.

Актиноэлектрическія явленія представляютъ огромный интересъ для метеорологіи, такъ какъ изслѣдованія ихъ, по всей вѣроятности, дадутъ возможность прійти къ заключенію, что солнце служитъ не только источникомъ тепла и свѣта на землѣ, но что оно также управляетъ всею электрическою и магнитною энергіею земного шара. Такое заключеніе вытекаетъ уже изъ *электромагнитной теоріи свѣта* Максвеля, такъ блистательно подтверждающейся опытами Гертца.

Въ настоящее время, въ виду открытія Рентгена, изученіе лучистой энергіи представляетъ въ высшей степени живой интересъ, благодаря которому наука можетъ въ ближайшемъ будущемъ обогатиться цѣлымъ рядомъ новыхъ, весьма любопытныхъ выводовъ.

---

*) Meteorol. Zeitschrift. 1893. Heft. 2.

Д. А. Лачиновъ. Основы Метеорологіи, 1895, стр. 471.

III. Фотоэлектрическая энергія солнечныхъ лучей.

ГЛАВА I.

Актинометрія ультра-фіолетовыхъ лучей.

§ 1. *Актино-электрическіе лучи.* Въ предыдущемъ отдѣлѣ мы упоминали уже объ электрическихъ свойствахъ темныхъ ультра-фіолетовыхъ лучей, названныхъ вообще *актиническими.* Въ виду живого интереса, который несомнѣнно представляютъ вновь открытыя свойства лучистой энергіи, мы посвящаемъ настоящій отдѣлъ актино-электрическимъ явленіямъ, вызываемымъ ультра-фіолетовыми лучами солнечнаго спектра.

Актиническіе лучи способствуютъ разсѣянію отрицательнаго электричества на изолированномъ металлическомъ проводникѣ. Эта наиболѣе преломляемая часть спектра въ сильной степени поглощается стекломъ, и только нѣкоторыя вещества, какъ напр. амальгамы калія и натрія [1]), остаются все таки чувствительными къ лучамъ, прошедшимъ черезъ слой стекла.

Химическія дѣйствія свѣта вызываются преимущественно ультра-фіолетовыми лучами; но мы уже знаемъ, какія неудобства представляютъ всѣ фотохимическіе методы; между тѣмъ потеря электричества подъ вліяніемъ свѣта, электрическое разсѣяніе, безъ большихъ затрудненій можетъ быть опредѣляемо въ точности.

---

[1]) Elster und Geitel, Wied. Ann. 43, S. 225, 1891.

Такимъ образомъ *въ настоящее время является возможность шаткіе фотохимическіе методы замѣнить фотоэлектрическими.*

Слой окиси или влаги на поверхности металла сильно ослабляетъ дѣйствіе актиническихъ лучей; поэтому передъ наблюденіемъ необходимо тщательно очищать проводникъ.

Послѣ многочисленныхъ попытокъ Эльстеръ и Гейтель [1]), которые впервые примѣнили фотоэлектрическіе методы къ рѣшенію метеорологическихъ вопросовъ, пришли къ заключенію, что наиболѣе примѣнимъ въ этомъ случаѣ амальгамированный цинкъ. Небольшой шарикъ изъ химически-чистаго цинка, свѣже-амальгамированный вслѣдствіе погруженія въ чистую ртуть, быстро теряетъ свой зарядъ отрицательнаго электричества, лишь только подвергнуть его дѣйствію свободно падающихъ солнечныхъ лучей.

Такимъ образомъ цинковый амальгамированный шарикъ, въ соединеніи съ электрометромъ, можетъ служить электрическимъ актинометромъ,—необходимо только найти точную зависимость теряемаго количества электричества въ единицу времени отъ напряженія падающихъ на шарикъ лучей.

§ 2. *Законъ фотоэлектрическаго разряда.* Опредѣляя аналитическую зависимость между напряженіемъ свѣта и потерею электричества, Эльстеръ и Гейтель приняли въ основу своихъ выводовъ слѣдующую гипотезу:

Коэффиціентъ разсѣянія отрицательнаго электричества на цинковой поверхности есть линейная функція напряженія свѣта.

Такимъ образомъ, означая этотъ коэффиціентъ черезъ z, будемъ имѣть:

$$z = a + bJ \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1),$$

[1]) J. Elster und H. Geitel: «Beobachtungen des atmosphärischen Potentialgefälles und der ultravioletten Sonnenstrahlung».
Sitzungsber. d. kaiserl. Akademie der Wissenschaften in Wien. Bd. CI Abth. II. a. März 1892, p. 50.
Meteor. Zeitschr. Februar 1893.

гдѣ a—значеніе этого коэффиціента при отсутствіи солнечныхъ лучей, b — постоянное, независящее отъ напряженія свѣта и электрическаго потенціала цинковаго шарика, а только отъ свойствъ чувствительной къ свѣту поверхности.

Пусть V электрическій потенціалъ,—dE количество электричества, теряемаго во время dt, при дѣйствіи лучей, цинковою поверхностью; тогда очевидно:

$$-dE = z.\ V.\ dt. \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2).$$

Если C электроемкость всей системы. состоящей изъ электрометра и цинковаго шарика, то

$$E = C.\ V, \text{ откуда:}$$

$$C.\ dV = -\ z.\ V.\ dt, \text{ или}$$

$$C\frac{dV}{V} = -\ z.\ dt. \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3).$$

Интегрируя (3), при чемъ означая начальный потенціалъ черезъ V_0, получимъ:

$$C.\,\mathrm{Log}.\frac{V_0}{V} = z.\ t;$$

вставляя значеніе z изъ (1), получимъ:

$$\mathrm{Log}.\ \frac{V_0}{V} = \frac{a + b.J}{C}.t. \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4).$$

Отсюда находимъ, что напряженіе ультра-фіолетовыхъ лучей, производящихъ электрическій разрядъ амальгамированнаго цинковаго шарика,

$$J = \frac{1}{b}\left\{\frac{C.\mathrm{Log}.\frac{V_0}{V}}{t} - a\right\} \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5).$$

Для опредѣленія постояннаго a необходимо наблюдать пониженіе потенціала цинковаго шарика отъ V_0 до V' въ тотъ же самый промежутокъ времени t, но безъ доступа солнечныхъ лучей.

Тогда $a = \frac{C.\mathrm{Log}.\frac{V_0}{V'}}{t}$, почему

$$J = \frac{C}{b.t}\left\{\mathrm{Log}.\frac{V_0}{V} - \mathrm{Log}.\frac{V_0}{V'}\right\} \ldots\ldots\ldots (6).$$

Такимъ образомъ $\frac{C}{b.t}\ \mathrm{Log}.\frac{V_0}{V'}$ представляетъ поправку относительно потери отрицательнаго электричества, вслѣдствіе несовершенной изоляціи, т. е. вслѣдствіе обыкновеннаго, не фотоэлектрическаго, разсѣянія.

Если принебречь этою поправкою, то формула значительно упрощается:

$$J = \frac{C}{b.t}\ \mathrm{Log}.\frac{V_0}{V} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (7).$$

Въ послѣднемъ выраженіи, для одного и того же прибора, C постоянно; точно также можетъ оставаться неизмѣннымъ b, зависящее отъ чувствительности цинковой поверхности. Замѣняя Неперовъ логариѳмъ обыкновеннымъ, полагая $\frac{C}{b} = 1$ и наконецъ принявъ за единицу времени экспозиціи одну минуту, получимъ напряженіе свѣта въ условныхъ единицахъ, постоянныхъ для одного и того же прибора.

Экспериментальныя изслѣдованія показали, что выведенная формула съ достаточною точностью выражаетъ зависимость между напряженіемъ свѣта и электрическимъ разсѣяніемъ.

Съ этою цѣлью Эльстеръ и Гейтель измѣряли помощью электрометра напряженія свѣта электрической искры, получаемой помощью небольшой индуктивной катушки, въ соединеніи съ лейденскою банкою.

Квадратная цинковая пластинка, свѣже-амальгамированная и вытертая шелковою бумагою, перемѣщалась внутри вычерненнаго ящика, въ который проникалъ свѣтъ электрической искры черезъ гипсовую пластинку. Опыты Эльстера и Гейтеля

производились въ темной комнатѣ, гдѣ потеря электричества вслѣдствіе обыкновеннаго разряда была ничтожна.

Если разстоянія цинковой пластинки отъ источника свѣта r_1 и r_2, тогда, по упрощенной формулѣ (7), должно быть справедливо:

$$\frac{J_1}{J_2} = \frac{t_2 \ \log. \frac{V_0}{V_1}}{t_1 \ \log. \frac{V_0}{V_2}} = \frac{r_2^2}{r_1^2}.$$

На основаніи цѣлаго ряда опытовъ Эльстеръ и Гейтель нашли, что послѣднее условіе выполняется съ достаточною точностью, а слѣдовательно и выведенная формула съ достаточною точностью выражаетъ законъ фотоэлектрическаго разряда.

§ 3. *Причины, могущія вліять на показанія прибора.*

a) *Уменьшеніе чувствительности цинковой поверхности.* Устраивая электрическій актинометръ, Эльстеръ и Гейтель изслѣдовали вопросъ, насколько измѣняется свѣточувствительность амальгамированной цинковой поверхности съ теченіемъ времени.

Съ этою цѣлью были приготовлены изъ чистаго цинка 12 мм. въ діаметрѣ шарики, которые навинчивались на стальные прутья.

Послѣ предварительнаго очищенія въ слабой сѣрной кислотѣ, шарики эти погружались въ ртуть, вслѣдствіе чего они мгновенно амальгамировались. Вслѣдъ за тѣмъ они обмывались въ дождевой водѣ, вытирались насухо холстомъ и наконецъ бѣлою шелковою бумагою.

Цинковые шарики, такимъ образомъ амальгамированные, сохраняли надолго одну и туже чувствительность. Когда же блестящая поверхность ихъ становилась матовою, достаточно было, для возвращенія прежней чувствительности, просто погрузить ихъ въ сухую ртуть и вытереть бѣлою шелковою бумагою. Приводимъ результаты изслѣдованій Эльстера и Гейтеля.

	Время наблюд.	Высота солнца.	Время эксп.	$\log.\frac{V_0}{V}$
Шарикъ 1891 г.	1 ч. р.	33°	15″	1.59.
Шарикъ вновь амальгамированный	1 ч. р.	33°	15″	1.59.
Шарикъ вновь амальгамированный	3 ч. р.	22°	15″	0.73.
Шарикъ 1891 г.	3 ч. р.	22°	15″	0.72.

b) *Температура*. Для опредѣленія вліянія температуры на фото-электрическую чувствительность амальгамированнаго цинка, Эльстеръ и Гейтель пользовались цинковымъ ящикомъ, снаружи покрытымъ черныкъ лакомъ, за исключеніемъ одной амальгамированной стороны, на которую падалъ свѣтъ электрической искры.

При наполненіи ящика горячею водою, опредѣлялось схожденіе листочковъ электроскопа подъ вліяніемъ свѣта въ теченіе 30 секундъ.

Вотъ результаты наблюденій 17 декабря 1889 года. Начальное расх. листочковъ 25 дѣл. шк. Время экспозиціи 30″.

Набл. расх. лист.	Вольты.	$\log.\frac{V_0}{V}$	t°C.
18.1	185	0.955	20.0.
19.0	191	0.817	70.2.
19.1	192	0.803	67.0.
18.0	185	0.974	63.8.
18.9	191	0.833	56.5.
18.5	188	0.892	40.9.
19.0	191	0.817	20.0.

Изъ приведенной таблицы видно, что значенія $\log.\frac{V_0}{V}$ при 70°C. и 20°C. (послѣднее) тождественны, вслѣдствіе чего заключаемъ, что годовые и суточные періоды колебанія температуры не могутъ оказывать существеннаго вліянія на скорость фотоэлектрическаго разсѣянія.

c) *Барометрическое давленіе.* Риги [1]) впервые показалъ, что скорость фотоэлектрическаго разсѣянія возрастаетъ съ разрѣженіемъ проходимаго лучами газа.

Желая опредѣлить, въ какой степени измѣняется скорость разряда при обыкновенныхъ колебаніяхъ барометрическаго давленія воздуха, Эльстеръ и Гейтель пропускали черезъ кварцевое окно лучи отъ электрической искры на цинковую амальгамированную пластинку, помѣщенную въ стекляномъ цилиндрѣ, въ которомъ упругость воздуха, посредствомъ особаго насоса, измѣнялась отъ 760 мм. до 510 мм.

Изслѣдованія эти показали, что при уменьшеніи давленія воздуха отъ 760 до 520 мм. (барометрическое давленіе на Зонбликѣ во время наблюденій) $\log. \frac{V_0}{V}$ возрастаетъ незначительно, въ среднемъ на $6.8\%_0$.

d) *Водяные пары.* Для изученія вліянія водяныхъ паровъ, содержащихся въ атмосферѣ, на фотоэлектрическое разсѣяніе, чувствительная къ свѣту цинковая пластинка помѣщалась въ жестяномъ кубѣ, который наполнялся воздухомъ, содержащимъ въ себѣ большее или меньшее количество водяныхъ паровъ.

Свѣтъ отъ электрической искры падалъ на амальгамированный цинкъ, проходя черезъ гипсовую пластинку, вправленную въ отверстіе боковой стѣнки ящика.

Экспериментальныя изслѣдованія не обнаружили измѣненія скорости фотоэлектрическаго разряда при возрастаніи влажности. Воздухъ, высушенный хлористымъ кальціемъ, въ этомъ отношеніи не отличался существенно отъ того, который находился въ соприкосновеніи съ теплою водою.

e) *Углекислота.* Эльстеръ и Гейтель обратили вниманіе также на измѣняющееся содержаніе углекислоты въ воздухѣ.

---

[1]) A. Pighi, Memoire della R. Academia delle Scienze. Bolognia. T. X, ser. IV. 1890. Sep.

Такъ какъ въ чистомъ углекисломъ ангидридѣ дѣйствіе свѣта на амальгамированный цинкъ гораздо сильнѣе, нежели въ воздухѣ [1]), то можно предполагать, что содержаніе этого газа въ атмосферномъ воздухѣ способствуетъ фотоэлектрическимъ разрядамъ.

Изслѣдованія производились при помощи описаннаго уже жестяного куба, который поперемѣнно наполнялся то чистымъ, свободнымъ отъ углекислоты, то обыкновеннымъ комнатнымъ воздухомъ.

Количество углекислоты, содержащейся въ комнатномъ воздухѣ, почти не оказывало вліянія на фотоэлектрическій разрядъ. Но при увеличеніи искусственнымъ путемъ содержанія углекислоты въ воздухѣ, фотоэлектрическое разсѣяніе замѣтно возрастало.

f) *Вліяніе электрическаго поля земли.* Отрицательно заряженный цинковый шарикъ, соединенный съ электроскопомъ, при дѣйствіи солнечныхъ лучей въ свободномъ воздухѣ, необходимо находится также подъ вліяніемъ электрическаго поля земли, вслѣдствіе чего листочки электроскопа стремятся къ разведенію положительнымъ электричествомъ съ силою, величина которой зависитъ отъ перемѣнной силы электрическаго поля.

Чѣмъ больше паденіе потенціала въ атмосферѣ, тѣмъ быстрѣе будетъ происходить потеря отрицательнаго заряда цинковаго шарика, т. е. больше $\log. \frac{V_0}{V}$.

Но если амальгамированный цинковый шарикъ помѣстить внутри проводящей металлической поверхности, соединенной, какъ и коробка электроскопа, съ землею, то такая оболочка изъ хорошаго проводника предохранитъ шарикъ отъ вліянія электрическаго поля земли, каково бы ни было паденіе потенціала въ атмосферѣ.

---

[1]) Wied. Ann. 41, p. 171, 1890.

§ 4. *Неподвижный электрическій актинометръ.* Неподвижный электрическій актинометръ устроенъ Эльстеромъ и Гейтелемъ для измѣренія напряженія всего дневного свѣта. Приборъ установленъ былъ на южной сторонѣ крыши зданія, подъ окномъ, открывающимся вверхъ.

На вертикальномъ желѣзномъ штативѣ утверждена металлическая тарелка, черезъ центръ которой насквозь проходитъ толстая стеклянная трубка, окружающая стальной стержень, на верхнемъ концѣ котораго, надъ тарелкою, навинченъ цинковый шарикъ. Для предохраненія чувствительнаго шарика отъ вліянія электрическаго поля земли, на тарелку ставится открытый съ обѣихъ сторонъ цилиндръ изъ тонкой желѣзной проволоки такихъ размѣровъ, чтобы при всякой высотѣ солнца лучи проходили только черезъ эту желѣзную сѣтку.

Нижній конецъ металлическаго стержня, поддерживающаго чувствительный шарикъ, соединяется посредствомъ проводящей проволоки съ электроскопомъ.

Такъ какъ при высокомъ стояніи солнца лучи дѣйствуютъ очень сильно на чувствительный шарикъ, то, для замедленія фотоэлектрическаго разряда, электроскопъ соединяется съ воздушнымъ конденсаторомъ, вслѣдствіе чего значительно увеличивается электроемкость всей системы.

Съ этою цѣлью на вертикальномъ стеклянномъ стержнѣ утверждается изъ жестяного листа, длиною 30 сант. и шириною въ 5.8 сант. съ обѣихъ сторонъ открытый цилиндръ, внѣшняя поверхность котораго соединяется посредствомъ проволоки съ электроскопомъ. Горизонтальный же металлическій стержень, проходящій по оси этого цилиндра, соединяется съ коробкою электроскопа.

Когда требуется совершенно отстранить дѣйствіе лучей на чувствительный шарикъ, то на тарелку ставится большихъ размѣровъ жестяной цилиндръ.

Наблюденія производятся слѣдующимъ образомъ.

Удаливъ внѣшній жестяной цилиндръ, вынимаютъ металлическій стержень съ привинченнымъ къ нему цинковымъ шарикомъ, который предварительно былъ уже амальгамированъ, черезъ верхнее отверстіе проволочнаго цилиндра. Погрузивъ чувствительный шарикъ въ небольшой сосудъ со ртутью, вращаютъ его, при помощи стержня, нѣсколько разъ въ жидкомъ металлѣ, послѣ чего, вынувъ, вытираютъ бѣлою шелковою бумагою до тѣхъ поръ, пока шарикъ не пріобрѣтетъ зеркальный видъ. Далѣе, не прикасаясь рукою къ шарику, опускаютъ стержень въ стеклянную трубку на свое мѣсто.

Приготовивъ такимъ образомъ чувствительный шарикъ къ наблюденіямъ, быстро накрываютъ его жестянымъ цилиндромъ, соединяютъ съ электроскопомъ, заряжаютъ отрицательнымъ электричествомъ до опредѣленнаго угла расхожденія аллюминіевыхъ листочковъ S_0; снимаютъ жестяной цилиндръ и считаютъ число секундъ t, по истеченіи которыхъ быстро ставятъ жестяной цилиндръ на свое мѣсто, и опредѣляютъ окончательное расхожденіе листочковъ S.

Такъ поступаютъ нѣсколько разъ, возобновляя при этомъ всякій разъ амальгамированіе цинковаго шарика.

Для опредѣленія же обыкновеннаго электрическаго разсѣянія, заряжаютъ электроскопъ опять до угла S_0 и, не снимая жестяного цилиндра, по истеченіи $60''$ опредѣляютъ уголъ расхожденія листочковъ S'. Тогда

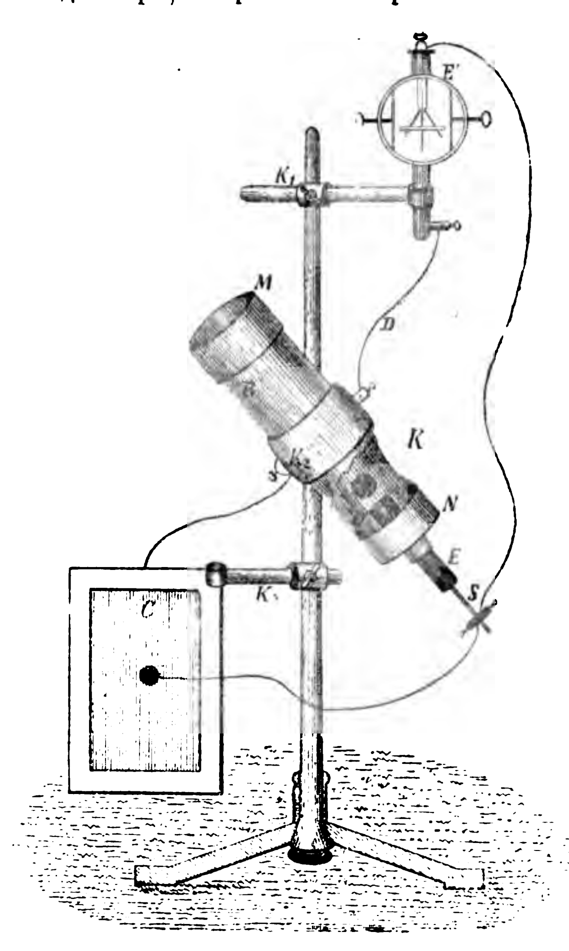
$$J = \frac{1}{t} \log. \frac{V_0}{V} - \log. \frac{V_0}{V'} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (8),$$

гдѣ V и V' потенціалы, соотвѣтствующіе угламъ S и S'.

Емкость воздушнаго конденсатора выбрана такимъ образомъ, чтобы во время наибольшаго напряженія солнечнаго свѣта (полдень въ іюнѣ и въ іюлѣ) послѣ $5''$ экспозиціи, еще оставался довольно значительный уголъ расхожденія алюминіевыхъ листочковъ.

§ 5. *Переносный электрическій актинометръ.* Второй приборъ Эльстера и Гейтеля, служащій для измѣренія непосредственныхъ солнечныхъ лучей, въ общемъ весьма сходенъ съ предыдущимъ приборомъ.

Онъ состоитъ изъ металлической трубки R, 20 сант. длины и 3 сант. въ діаметрѣ, направляемой прямо на солнце. На верхнемъ концѣ этой трубки устроена крышка M, а черезъ нижнюю крышку N вставляется эбонитовый стержень E со свѣже-амальгамированнымъ цинковымъ шарикомъ K, который посредствомъ проволокъ соединяется съ аллюминіевыми листочками градуированнаго электроскопа Экснера E и съ переднею обладкою эбонитоваго конденсатора C, поверхностью въ 133 кв. сант. Задняя же обладка этого конденсатора и наружная оправа электроскопа соединяются съ внѣшнею поверхностью трубки R, которая посредствомъ металлическаго штатива находится въ соединеніи съ землею.



Фиг. 1.

Передъ наблюденіемъ снимаютъ сперва съ обоихъ концовъ крышки M и N, и направляютъ трубу на солнце такимъ образомъ, чтобы на бумагѣ, помѣщенной позади трубы, перпендикулярно къ ея оси, образовалось отъ тѣни кольцо, равномѣрной толщины.

Шарикъ K амальгамируется по вышеизложенному способу, вставляется въ трубу R, при чемъ S соединяется съ электроскопомъ. Послѣ заряженія помощью Вольтова столба отрицательнымъ электричествомъ до расхожденія аллюминіевыхъ листочковъ на уголъ S_0, снимаютъ крышку M и, по истеченіи времени t, опредѣляютъ расхожденіе листочковъ S. Вмѣстѣ съ тѣмъ необходимо опредѣлить и обыкновенное разсѣяніе въ тотъ же промежутокъ времени. Найденныя значенія для напряженія ультра-фіолетовыхъ лучей J, естественно, сравнимы только между собою.

ГЛАВА II.

Наблюденія Эльстера и Гейтеля.

§ 6. *Дѣйствіе всего дневного свѣта.* Эльстеръ и Гейтель производили измѣренія, помощью неподвижнаго актинометра, напряженія всего дневного свѣта съ октября 1889 г. до 1891 года, при благопріятной, преимущественно безоблачной погодѣ.

Годовой ходъ напряженія ультра-фіолетовыхъ лучей солнца и небеснаго свода въ полуденные часы имѣетъ максимумъ во второй половинѣ іюня и минимумъ въ декабрѣ, при чемъ первый превосходитъ второй въ 70—80 разъ. Относительно этихъ двухъ крайнихъ значеній кривая не вполнѣ симметрична: при одинаковыхъ высотахъ солнца отъ декабря до іюня напряженіе дневного свѣта меньше, чѣмъ отъ іюня до декабря.

Что же касается суточнаго хода напряженія ультра-фіолетовыхъ лучей, то до полудня напряженіе слабѣе, нежели послѣ полудня, что вполнѣ соотвѣтствуетъ выводамъ Маршана относительно химическихъ лучей [1]).

§ 7. *Поглощеніе ультра-фіолетовыхъ лучей солнца земною атмосферою.* Наблюденія при помощи переноснаго актинометра имѣли своею цѣлью опредѣленіе поглощенія ультрафіолетовыхъ лучей солнца земною атмосферою и производились въ іюнѣ, іюлѣ и августѣ.

Изъ 106 отдѣльныхъ наблюденій 64 произведены были въ Вольфенбюттелѣ (80 м. высоты надъ ур. моря), 19 — на Kolm Saigurn (1600 м. выс.) и 23 на вершинѣ горы Зонбликъ (3100 м. в.).

На каждой изъ послѣднихъ двухъ станцій измѣренія производились при помощи двухъ хорошо свѣренныхъ между собою приборовъ. Всѣ ряды наблюденій показываютъ быстрое увеличеніе напряженія лучей, при возрастаніи высоты солнца надъ горизонтомъ.

Фотоэлектрическая сила свѣтового источника зависитъ отъ содержанія въ немъ лучей наиболѣе короткихъ волнъ, и въ этомъ отношеніи напряженіе солнечной радіаціи сравнительно не велико, такъ какъ солнечная атмосфера отчасти состоитъ изъ такихъ металлическихъ паровъ и газовъ, которымъ свойственно въ сильной степени испусканіе, а слѣдовательно, и поглощеніе фіолетовыхъ и ультра-фіолетовыхъ лучей.

Вмѣстѣ съ тѣмъ, какъ мы знаемъ изъ наблюденій Лангле [2]), земная атмосфера также задерживаетъ преимущественно эту часть солнечной радіаціи.

Для опредѣленія коэффиціента прозрачности воздуха и напряженія ультра-фіолетовыхъ лучей на границѣ земной атмосферы, Эльстеръ и Гейтель воспользовались наблюденіями,

---

[1]) См. стр. 33 ч. II.
[2]) См. стр. 77 ч. II.

произведенными ими 25 іюня и 18 августа въ Вольфенбюттелѣ, 15 іюля въ Кольмъ-Сайгурнѣ и 17 — 18 іюля на Зонбликѣ.

Чтобы опредѣлить, насколько примѣнима къ результатамъ наблюденій простая логариѳмическая формула $J=J_0a^z$, были вычислены по способу наименьшихъ квадратовъ коэффиціенты уравненія:

$$\log. J=\log. J_0+z \log. a,$$

и найденныя такимъ образомъ $\log. J_0$ и $\log. a$ служили для теоретическаго опредѣленія значеній J, соотвѣтствующихъ тѣмъ же самымъ высотамъ солнца, при которыхъ производились наблюденія.

Изъ наблюденій, произведенныхъ въ Вольфенбюттелѣ 25 іюня 1890 г., найдено было:

$$J_0=99.45, \quad a=0.375.$$

По наблюденіямъ же 18 августа: $J_0=96.6$, $a=0.361$.

Наблюденія на Кольмъ-Сайгурнѣ 15 іюля 1890 г. дали:

$$J_0=238.1, \quad a=0.231.$$

Наконецъ изъ наблюденій на Зонбликѣ:

17 іюля $J_0=234.0$, $a=0.259$.

18 » $J_0=191.0$, $a=0.302$.

За исключеніемъ наблюденій 18 іюля, когда съ утра было облачно, а къ вечеру разразилась гроза, наблюденія вообще удовлетворительно выражаются простою логариѳмическою формулою. Но вмѣстѣ съ тѣмъ замѣчается, что въ полдень напряженія наблюденныя вообще выше, нежели вычисленныя по простой логариѳмической формулѣ. Явленіе это указываетъ на избирательное поглощеніе ультра-фіолетовыхъ лучей въ земной атмосферѣ.

Допустимъ, что J_0 на самомъ дѣлѣ состоитъ изъ двухъ категорій простыхъ лучей J_0' и J_0'', такъ что:

$$J=J_0'a_1^z+J_0''a_2^z,$$

при чемъ a_1 гораздо больше a_2.

Тогда для незначительныхъ высотъ солнца, когда z велико, послѣдній членъ предыдущей формулы будетъ ничтоженъ въ сравненіи съ первымъ, чего нельзя сказать относительно полудня.

Вслѣдствіе этого измѣренныя напряженія около полудня, соотвѣтствующія наименьшимъ z, будутъ больше, нежели вычисленныя по простой формулѣ, найденной на основаніи всѣхъ вообще наблюденій.

Въ связи съ этимъ находится и уменьшеніе коэффиціента прозрачности воздуха для всего пучка лучей a, съ высотою мѣста наблюденія. Въ то время, какъ по наблюденіямъ въ Вольфенбюттелѣ коэффиціентъ прозрачности воздуха a = 0.37, въ Кольмъ-Сайгурнѣ и на Зонбликѣ онъ понижается до 0.24.

Уже въ верхнихъ слояхъ атмосферы нѣкоторые лучи, соотвѣтствующіе наиболѣе короткимъ волнамъ, вѣроятно, совершенно затухаютъ, и потому дальнѣйшее ослабленіе лучистой энергіи, измѣряемой электрическимъ актинометромъ, значительно замедляется.

Въ заключеніе Эльстеръ и Гейтель, принимая для солнечной постоянной, изъ наблюденій на Зонбликѣ и Кольмъ-Сайгурнѣ, 236, приводятъ таблицу, показывающую напряженіе лучей, перпендикулярно падающихъ на уровни, отстоящіе на 3100 (Зонбликъ), 1600 (Кольмъ-Сайгурнъ) и 80 (Вольфенбюттель) метровъ, и количество поглощаемыхъ лучей въ каждомъ слоѣ въ отдѣльности.

	J_{90}	Толщина прох. слоя.	Разности.	Поглощеніе въ каждомъ слоѣ.
Предѣлъ атмосферы . . .	236	0		
			0.6779	0.60
Зонбликъ	94	0.6779		
			0.1403	0.23
Кольмъ-Сайгурнъ	72	0.8182		
			0.1718	0.47.
Вольфенбюттель	38	0.9900		

При разсмотрѣніи этой таблицы бросается въ глаза значительное поглощеніе ультра-фіолетовыхъ лучей слоемъ, бли-

жайшимъ къ земной поверхности, въ сравненіи съ предыдущимъ. Такимъ образомъ поглощеніе лучей происходитъ въ среднихъ слояхъ слабѣе, нежели въ верхнихъ; но у земной поверхности, благодаря вѣроятно пыли, какъ полагаютъ авторы, поглощеніе ультра-фіолетовыхъ лучей вновь усиливается.

§ 8. *Вліяніе водяныхъ паровъ атмосферы на напряженіе ультра-фіолетовыхъ лучей.* Изучая фото-электрическую дѣятельность солнечной радіаціи, Эльстеръ и Гейтель пришли къ заключенію, что напряженіе ультра-фіолетовыхъ лучей тѣмъ больше, чѣмъ болѣе водяныхъ паровъ содержитъ въ себѣ земная атмосфера, какъ это можно видѣть между прочимъ изъ прилагаемой таблицы, въ которой Q—высота солнца, p—упругость пара въ миллиметрахъ.

Мѣсяцъ.	день.	Q.	J.	p.
VI	9	53	26	7.9
VI	25	51	29	8.8
VIII	15	51	33	9.3
VIII	16	51	39	12.3
VIII	18	52	36	14.9

Такое усиленіе дѣйствія ультра-фіолетовыхъ лучей, при возрастаніи упругости водяныхъ паровъ, весьма удивительно, и скорѣе можно было-бы предполагать противное.

Не объясняется-ли это явленіе просто тѣмъ, что влажный воздухъ способствуетъ фото-электрическимъ разрядамъ? Но изъ опытовъ Эльстера и Гейтеля извѣстно [1]), что замѣна сухого воздуха влажнымъ не имѣетъ почти никакого вліянія на скорость фото-электрическаго разряда.

Также точно наблюдаемое увеличеніе напряженія ультрафіолетовыхъ лучей нельзя объяснить вліяніемъ температуры на чувствительный цинковый шарикъ.

---

[1]) См. стр. 169.

Наконецъ при наблюденіяхъ всегда принимается во вниманіе утечка электричества вслѣдствіе несовершенной изоляціи прибора.

Еще Роско [1]) замѣтилъ увеличеніе напряженія химически дѣйствующихъ лучей, когда, при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ, температура воздуха повышается. Явленіе это Роско объяснялъ уменьшеніемъ *опалесценціи* воздуха при повышеніи температуры. Такъ какъ содержаніе водяныхъ паровъ въ воздухѣ тѣмъ большее, чѣмъ выше его температура, то не слѣдуетъ-ли отсюда заключить, что явленіе, приписываемое Роско вліянію *опалесценціи* воздуха, въ сущности зависитъ отъ большаго или меньшаго содержанія водяныхъ паровъ въ атмосферѣ?

Изъ опытовъ Кисслинга и Айткена извѣстно, что сгущеніе водяныхъ паровъ въ атмосферѣ обусловливается присутствіемъ пылинокъ, носящихся свободно въ воздухѣ.

Такимъ образомъ, въ атмосферѣ тѣмъ большее должно быть стремленіе къ образованію тумана, чѣмъ болѣе она содержитъ въ себѣ водяныхъ паровъ и пылинокъ. Если поэтому, не смотря на значительное содержаніе водяныхъ паровъ въ воздухѣ, небо остается чистымъ, свободнымъ отъ облаковъ, то, значитъ, атмосфера сравнительно свободна отъ пыли.

Недостатокъ пыли въ послѣднемъ случаѣ и обусловливаетъ, по мнѣнію Эльстера и Гейтеля, усиленіе прозрачности атмосферы для ультра-фіолетовыхъ лучей солнца.

§ 9. *Напряженіе ультра-фіолетовыхъ лучей и паденіе электрическаго потенціала въ атмосферѣ.* Въ настоящее время для объясненія электрическихъ явленій въ атмосферѣ общепринятою считается теорія Пельтье-Экспера, по которой земной шаръ содержитъ большой избытокъ отрицательнаго

---

[1]) См. стр. 15, ч. II.

электричества. Вслѣдствіе индукціи въ окружающей атмосферѣ развивается электрическое поле, въ которомъ отрицательный потенціалъ убываетъ (или же положительный возрастаетъ), по мѣрѣ удаленія отъ земной поверхности. Напряженность электрическаго поля опредѣляется паденіемъ потенціала на единицу длины (въ вольтахъ на метръ); по направленію, перпендикулярному къ эквипотенціальнымъ поверхностямъ, т. е. производною $-\frac{dV}{dn}$.

Напряженіе электрическаго поля подвержено постояннымъ колебаніямъ, которыя обусловливаются, между прочимъ, большимъ или меньшимъ содержаніемъ водяныхъ паровъ въ атмосферѣ.

Экснеръ [1]) нашелъ слѣдующую зависимость между напряженіемъ электрическаго поля и упругостью водяныхъ паровъ:

$$\frac{dV}{dn}=\frac{A}{1+kq} \qquad (9),$$

гдѣ A паденіе потенціала въ совершенно сухомъ воздухѣ, q—количество паровъ въ граммахъ, содержащихся въ кубическомъ метрѣ воздуха, k—постоянное.

На основаніи 1100 наблюденій, произведенныхъ въ Вѣнѣ, С. Гилгенѣ, Вольфенбюттелѣ и отчасти на Цейлонѣ, Экснеръ нашелъ слѣдующія значенія для постоянныхъ:

$$A=1410, \ k=1.15.$$

Что касается q, то оно, какъ извѣстно, опредѣляется по формулѣ:

$$q=p\frac{1.06}{1+\alpha t},$$

гдѣ p—упругость паровъ въ миллиметрахъ, $\alpha=0,00366$.

Такъ какъ ультра-фіолетовые лучи способствуютъ разсѣянію отрицательнаго электричества, то, естественно, возникаетъ вопросъ о связи между напряженіемъ ультра-фіолетовыхъ лучей солнца и состояніемъ электрическаго поля.

---

[1]) F. Exner. Sitzungsber. der Kaiserl. Akad. der Wissensch. in Wien 99. Abth. II a, S. 621, 1890.

Актино-электрическіе лучи, содѣйствуя переходу отрицательнаго заряда земли въ атмосферу, должны ослаблять электрическое поле, что на самомъ дѣлѣ и подтверждается наблюденіями Эльстера и Гейтеля, которые нашли, что паденіе потенціала уменьшается съ возрастаніемъ напряженія ультра-фіолетовыхъ лучей.

Ниже приведена таблица, дающая среднія мѣсячныя напряженія ультра-фіолетовыхъ лучей и электрическаго поля, на основаніи одновременныхъ наблюденій.

	декабрь.	январь.	февраль.	мартъ.	апрѣль.	май.
Актин.	5.5	12.2	29.2	110.6	115.2	201.5
Электр.	470	392	342	278	138	110
	іюнь.	іюль.	августъ	сентябрь.	октябрь.	ноябрь.
»	301.2	301.2	236.2	180.4	102.7	34.3
»	102	102	121	121	188	261.

Изъ приведенной таблицы можно видѣть, что минимуму напряженія лучей въ декабрѣ соотвѣтствуетъ максимумъ паденія потенціала и максимумъ радіаціи въ іюнѣ—минимуму напряженія электрическаго поля.

Результаты своихъ наблюденій Эльстеръ и Гейтель выразили эмпирическою формулою такого же вида, какъ и Экснерова, съ тою лишь разницею, что количество водяныхъ паровъ q, содержащихся въ единицѣ объема, замѣнено напряженіемъ лучей J:

$$\frac{dV}{dn}=\frac{A}{1+kJ}.$$

На основаніи наблюденнаго матеріала для постоянныхъ найдено:

$$A=470,\ k=0.020.$$

Провѣряя справедливость формулы Экснера, Эльстеръ и Гейтель, на основаніи произведенныхъ ими наблюденій въ Вольфенбюттелѣ, вычислили слѣдующую таблицу:

q	$\frac{dV}{dn}$ Наблюд.	$\frac{dV}{dn}$ Вычислен.
1.6	502	496
1.9	430	442
2.5	400	364
3.7	318	268
4.6	252	224
5.6	137	189
6.5	184	166
7.6	148	145
8.4	112	133
9.4	115	119
10.6	118	107
13.5	121	85.

Изъ этой таблицы можно видѣть, что формула Экснера удовлетворительно выражаетъ паденіе потенціала только въ томъ случаѣ, когда содержаніе паровъ въ кубич. м. воздуха ниже 8 граммовъ. При возрастаніи количества паровъ съ 8.4 до 13.5 граммовъ паденіе потенціала имѣетъ обратный ходъ, т. е. возрастаетъ отъ 112 до 121 вольтъ.

Вмѣстѣ съ тѣмъ найдено было, что въ нѣкоторыхъ группахъ наблюденій, соотвѣтствующихъ однимъ и тѣмъ же упругостямъ водяного пара, паденіе потенціала чрезвычайно различно, такъ что отклоненія отъ среднихъ значеній доходятъ до 300%!

Такое различіе въ паденіи потенціала Эльстеръ и Гейтель объясняютъ различнымъ напряженіемъ ультра-фіолетовыхъ лучей при одинаковой упругости водяного пара.

ГЛАВА III.

Актино-электрическія наблюденія на Большомъ Фонтанѣ.

§ 10. *Дневной ходъ напряженія ультра-фіолетовыхъ лучей.* Въ августѣ мѣсяцѣ 1896 года мною предприняты были на Большомъ Фонтанѣ актино-электрическія наблюденія, которыя производились тамъ же, гдѣ раньше велись актинометрическія. Для означенныхъ наблюденій по моимъ указаніямъ построенъ былъ въ мастерской механика Новороссійскаго университета І. А. Тимченко приборъ, въ общемъ такого же типа, какъ и переносный электрическій актинометръ Эльстера и Гейтеля.

Приборъ мой состоитъ изъ мѣдной трубки, длиною 20 сантиметровъ и 3-хъ сантиметровъ въ діаметрѣ, насаживаемой на металлическій штативъ. Для оріентированія прибора служатъ двѣ мѣдныя круглыя пластинки, закрывающія верхнее и нижнее отверстія трубки и имѣющія въ діаметрѣ 4 (верхняя) и 5 (нижняя) сантиметровъ, такъ что, когда трубка направлена прямо на солнце, то тѣнь отъ верхней пластинки даетъ кольцо, концентрическое съ нижнею пластинкою. Обѣ эти круглыя пластинки имѣютъ отверстія такого же діаметра, какъ и внутренній діаметръ трубки, при чемъ на верхнемъ концѣ трубки устроена легко открывающаяся мѣдная крышка, а въ нижнее отверстіе трубки вставляется эбонитовый цилиндръ, по оси котораго проходитъ мѣдный стержень съ навинчиваемымъ цинковымъ шарикомъ.

Внѣшній конецъ мѣднаго стержня посредствомъ изолированной металлической проволоки соединяется съ аллюминіевыми листочками градуированнаго электроскопа Экснера, выписаннаго изъ Брауншвейга отъ Миллера Ункеля, а также съ внутреннею поверхностью Лейденской банки. Внѣшняя же поверхность Лей-

денской банки и наружная оправа электроскопа соединяются съ мѣдною трубкою прибора, которая посредствомъ штатива находится въ соединеніи съ землею. Электроемкость Лейденской банки выбрана была такимъ образомъ, чтобы въ полдень, послѣ экспозиціи наэлектризованнаго цинковаго шарика въ теченіе 15 секундъ, еще оставался нѣкоторый уголъ расхожденія аллюминіевыхъ листочковъ.

Цинковый шарикъ амальгамировался мною передъ каждымъ наблюденіемъ. Для этого онъ сперва погружался въ слабый растворъ сѣрной кислоты, а за тѣмъ въ чистую ртуть.

Послѣ амальгамированія шарикъ обмывался въ дистиллированной водѣ и вытирался насухо сперва холстомъ, потомъ бѣлою шелковою бумагою. Приготовленный такимъ образомъ къ наблюденію цинковый шарикъ весьма осторожно на стержнѣ вносился въ мѣдную трубку и соединялся посредствомъ проволоки съ листочками электроскопа; затѣмъ при помощи Зомбоніева столба заряжался отрицательнымъ электричествомъ до опредѣленнаго потенціала.

Хотя приборъ былъ готовъ уже въ первыхъ числахъ іюля, но, къ сожалѣнію, время наибольшаго напряженія актиническихъ лучей солнца было чрезвычайно не благопріятно для наблюденій. Наиболѣе удачныя наблюденія сдѣланы были 17, 20, 24, 27 и 29 августа по новому стилю. При всѣхъ этихъ наблюденіяхъ начальное отклоненіе аллюминіевыхъ листочковъ электроскопа соотвѣтствовало 20 дѣленіямъ шкалы, а продолжительность времени экспозиціи равна была 10 секундамъ.

Ниже приведены напряженія актиническихъ лучей солнца въ началѣ каждаго часа, отнесенныя къ минутѣ и вычисленныя нами по простой формулѣ: $\frac{1}{t} \log. \frac{V_0}{V}$, такъ какъ во все время наблюденій утечка электричества вслѣдствіе несовершенной изоляціи была крайне ничтожна.

Часы.		7a	8	9	10	11	12	1p	2	3	4	5
17 августа	J=	…	…	…	…	…	…	1.88	1.84	1.31	0.51	0.42
	mm=	…	…	…	…	…	…	14.0	14.7	15.0	15.0	14.2
20 »	J=	0.25	0.45	0.57	0.76	1.00	1.83	1.83	1.83	1.25	0.45	0.25
	mm=	9.0	9.5	9.3	8.9	8.6	8.4	8.2	8.0	7.3	7.4	7.3
24 »	J=	0.40	0.61	0.95	1.87	2.01	2.75	2.27	1.87	1.46	1.24	0.23
	mm=	16.2	17.1	17.7	17.2	17.9	16.8	16.8	17.3	16.3	12.4	13.7
27 »	J=	—	0.49	1.24	1.91	1.89	2.02	2.02	1.91	1.24	0.85	—
	mm=	—	10.6	12.1	12.4	12.7	12.7	12.9	13.8	14.0	12.4	—
29 »	J=	—	1.22	2.07	2.07	2.75	2.75	2.68	1.86	1.22	—	—
	mm=	—	12.7	14.1	16.0	17.1	17.4	13.7	11.7	12.3	—	—

Во все время наблюденій въ означенные дни небо оставалось чистымъ, свободнымъ отъ облаковъ.

20-го и 24-го августа наблюденія производились отъ 7 час. утра въ началѣ каждаго часа, непрерывно до 5 часовъ вечера.

Въ эти дни максимумъ напряженія актиническихъ лучей былъ въ полдень. При одинаковыхъ высотахъ солнца, до полудня напряженіе слабѣе, нежели послѣ полудня, что вполнѣ соотвѣтствуетъ наблюденіямъ Эльстера и Гейтеля, а также выводамъ Маршана относительно химическихъ лучей. Эльстеръ и Гейтель *) пришли къ весьма интересному выводу, что, при одинаковой длинѣ луча въ атмосферѣ, напряженіе актиническихъ лучей увеличивается съ возрастаніемъ упругости водяныхъ паровъ въ атмосферѣ.

Въ виду этого мы приводимъ для каждаго дня значенія абсолютной влажности въ миллиметрахъ, по наблюденіямъ Метеорологической Обсерваторіи Новороссійскаго университета на Маломъ Фонтанѣ **). При высокихъ стояніяхъ солнца, въ самомъ дѣлѣ, большія напряженія актиническихъ лучей соотвѣтствуютъ большей абсолютной влажности.

Но эти наблюденія, конечно, не могутъ еще имѣть рѣшающаго значенія.

Вліяніе абсолютной влажности на напряженіе актиническихъ лучей солнца и связь ея съ загадочнымъ явленіемъ *опалесценціи* воздуха—могутъ быть обнаружены только путемъ продолжительныхъ наблюденій.

---

*) См. стр. 158.

**) См. стр. CXXXIV лѣт. мет. обс. Нов. ун. 1896 г.

ГЛАВА IV.

Изслѣдованія Экснера.

§ 11. *Сущность общепринятой теоріи атмосфернаго электричества.* Изслѣдованіе фото-электрической энергіи солнечныхъ лучей имѣетъ весьма важное научное значеніе, такъ какъ оно способствуетъ дальнѣйшему развитію общепринятой въ настоящее время теоріи атмосфернаго электричества Пельтье-Экснера.

Еще въ 1803 году Эрманъ, замѣтивъ, что при поднятіи электроскопа вверхъ листочки его разводятся положительнымъ электричествомъ, а при опусканіи — отрицательнымъ, пришелъ къ заключенію, что земной шаръ заряженъ отрицательнымъ электричествомъ. Точно также Пельтье въ 1836 году объяснялъ кажущееся распредѣленіе электрическихъ массъ въ атмосферѣ простою индукціею.

Но доказать непосредственными наблюденіями, что чистый атмосферный воздухъ только участвуетъ въ индукціи, какъ діэлектрикъ, чрезвычайно трудно. Такъ какъ внутри замкнутаго проводника электрическая индукція не можетъ проявляться, то вопросъ казалось бы можно рѣшить опредѣленіемъ потенціала внутри металлической рѣшетки, отведенной къ землѣ, какъ это и было предложено Маскаромъ. Но едва-ли такія наблюденія могутъ имѣть рѣшающее значеніе, въ виду несовершенной проводимости металлической проволоки, а также пыли, всегда присущей земной атмосферѣ.

Экснеръ старался рѣшить вопросъ инымъ путемъ, а именно изученіемъ хода эквипотенціальныхъ поверхностей, которыя, окружая землю, какъ наэлектризованный кондукторъ, должны слѣдовать законамъ электростатики.

Дѣйствительно, наблюденія показали Экснеру, что распредѣленіе и форма эквипотенціальныхъ поверхностей соотвѣтствуютъ теоріи: ближайшія къ землѣ слѣдуютъ ея рельефу,

являясь въ тоже время наиболѣе скученными вблизи выдающихся частей [1]).

Такъ, напримѣръ, наблюденія показали:

Высота въ метрахъ	0—5—10—15—20.
Въ разстояніи 12 метр. отъ стѣны ..	0—2— 7—17—48 вольтъ.
Посрединѣ обширнаго двора	0—5—11—32—68 »

Такимъ образомъ наблюденія Экснера въ общемъ подтверждаютъ гипотезу объ отрицательной электризаціи земного шара.

§ 12. *Вліяніе водяныхъ паровъ атмосферы.* Дальнѣйшія изслѣдованія электрическаго поля показали Экснеру, что не только на земной поверхности, но и въ самой атмосферѣ должны быть заряды отрицательнаго электричества.

Эти послѣдніе заряды переносятся, по объясненію Экснера, съ земной поверхности въ атмосферу водяными парами, вслѣдствіе чего уменьшается напряженность электрическаго поля. Дѣйствительно, суточные и годовые періоды показываютъ, что наибольшее паденіе потенціала всегда соотвѣтствуетъ наименьшему содержанію водяныхъ паровъ въ атмосферѣ и обратно.

Въ виду этого, для всесторонняго изслѣдованія электрическаго поля въ связи съ метеорологическими элементами, съ августа 1886 г. до мая 1887 г. Экснеромъ производились систематическія наблюденія въ безоблачные дни.

Въ этотъ промежутокъ времени сдѣлано было, при помощи переносныхъ приборовъ, 133 наблюденія въ трехъ различныхъ пунктахъ, при чемъ 110—при совершенно нормальной погодѣ.

Весь наблюдательный матеріалъ, полученный при совершенно нормальныхъ условіяхъ, представленъ Экснеромъ, по сте-

[1]) F. Exner: «Ueber die Ursache und die Gesetze der atmosphärischen Elektrizität». Sitzungsber. der Kais. Akademie der Wissensch. in Wien. Band. 93, S. 222, 1886.

пенямъ упругости водяного пара, въ видѣ десяти отдѣльныхъ группъ, для которыхъ мы приводимъ среднія значенія [1]).

Число наблюденій.	Упругость паровъ въ мм.	$\frac{dV}{dn}$
12	2.3	325
6	3.8	297
11	4.4	197
8	5.5	166
7	6.8	116
14	8.4	106
16	9.5	97
12	10.4	84
14	11.4	74
10	12.5	68.

Приведенная таблица показываетъ, что съ увеличеніемъ количества паровъ въ атмосферѣ напряженіе электрическаго поля послѣдовательно ослабѣваетъ.

Эти же наблюденія, расположенныя по степенямъ относительной влажности, даютъ слѣдующія среднія значенія.

Число наблюденій.	Относит. влажность.	$\frac{dV}{dn}$
6	44%	116
11	56	138
32	64	128
30	75	120
23	85	179
8	92	249.

Въ данномъ случаѣ не наблюдается правильнаго хода измѣненія напряженія электрическаго поля въ зависимости отъ относительной влажности. Вмѣстѣ съ тѣмъ изъ послѣдней группы можно видѣть, что при наибольшемъ насыщеніи воздуха

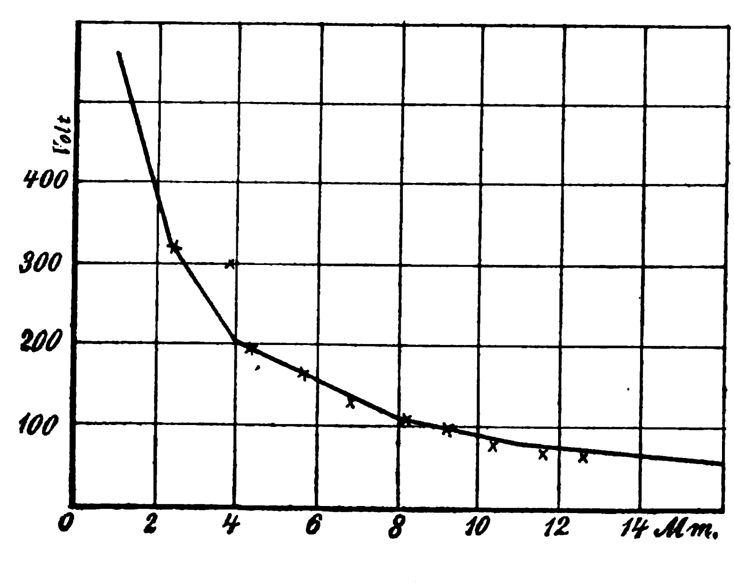
---

[1]) F. Exner: «Ueber die Abhängigkeit der atmosphärischen Elektricität vom Wassergehalte der Luft». Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien, Band. 96, S. 438, 1887.

водяными парами напряженіе электрическаго поля быстро возрастаетъ. Явленіе это наблюдается зимою, когда при наибольшей относительной влажности содержаніе водяныхъ паровъ въ атмосферѣ весьма не значительно, что и обусловливаетъ быстрое паденіе потенціала.

На основаніи послѣднихъ изслѣдованій Экснеръ заключаетъ, что напряженіе атмосфернаго электричества, или величина паденія потенціала въ воздухѣ по направленію нормали, есть функція содержанія паровъ въ атмосферѣ.

Первую изъ приведенныхъ двухъ таблицъ можно представить также графически, откладывая упругости водяныхъ паровъ на абсциссѣ и соотвѣтственныя имъ паденія потенціала на ординатахъ.



Фиг. 2.

Полученная такимъ образомъ кривая очень круто поднимается вверхъ, по мѣрѣ приближенія къ началу координатъ; нѣкоторое отступленіе замѣчается только у точки, соотвѣтствующей 3.8 м.м.

Паденіе потенціала, какъ извѣстно, пропорціонально поверхностной плотности электрическаго заряда.

Если бы атмосфера была совершенно лишена водяныхъ паровъ, электрическій зарядъ оставался бы весь на земной поверхности, и въ этомъ случаѣ:

$$\frac{dV}{dn}=A=a.\mu \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1),$$

гдѣ μ наибольшая возможная поверхностная плотность.

Но при испареніи водъ на земной поверхности часть заряда переходитъ въ атмосферу, такъ что на самомъ дѣлѣ:

$$\frac{dV}{dn}=a\ (\mu-\mu') \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2).$$

Количество электричества μ', очевидно, пропорціонально содержанію паровъ въ атмосферѣ p_0 и въ то же время самой электрической плотности μ, слѣдовательно, и паденію потенціала $\frac{dV}{dn}$, такъ какъ водяные пары тѣмъ болѣе должны уносить съ собою электричества, чѣмъ большая поверхностная плотность, т. е.

$$\mu'=b.\ p_0.\ \frac{dV}{dn} \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3).$$

Такимъ образомъ $\frac{dV}{dn}=A-ab.p_0.\frac{dV}{dn}$, откуда

$$\frac{dV}{dn}=\frac{A}{1+kp_0} \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4),$$

гдѣ A паденіе потенціала у земной поверхности при совершенномъ отсутствіи паровъ въ атмосферѣ, k—постоянное.

Вполнѣ точное опредѣленіе A и k, безъ сомнѣнія, невозможно, а только по приближенію, и въ этомъ отношеніи весьма важное значеніе имѣли бы продолжительныя зимнія наблюденія, при незначительномъ содержаніи водяныхъ паровъ въ атмосферѣ, напримѣръ, въ Сибири. Между тѣмъ опредѣленіе A имѣетъ весьма важное значеніе, такъ какъ, зная A, можно

опредѣлить поверхностную плотность, а слѣдовательно, и весь электрическій зарядъ земного шара, на основаніи формулы:

$$\mu = -\frac{A}{4\pi} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5),$$

гдѣ π извѣстное отношеніе окружности къ діаметру 3.14.

Сперва Экснеръ полагалъ, что A мало отличается отъ 600 вольтъ на метръ, такъ какъ это было наибольшее наблюденное паденіе потенціала при очень низкой упругости водяныхъ паровъ; но на самомъ дѣлѣ A должно быть значительно больше, такъ какъ при весьма малыхъ значеніяхъ p_0, кривая, выражаемая ур. (4), весьма круто поднимается вверхъ.

Выбравъ для $\frac{dV}{dn}$ значенія, соотвѣтствующія самой низшей упругости паровъ во время наблюденій 2.3 м.м., а также средней 9.5 мм., Экснеръ при помощи ур. (4) нашелъ:

$$A = 1300 \text{ вольтъ на метръ и } k = 1.31.$$

Наконецъ позже Экснеръ даетъ для $A = 1410$ в. и $k = 1.15$.

§ 13. *Электрическій зарядъ земного шара.* Пусть электрическій зарядъ всего земного шара M, радіусъ земли R. Тогда потенціалъ земного шара $V = \frac{M}{R}$;

$$\text{отсюда:} -\frac{dV}{dn} = \frac{M}{R^2} \text{ и } V = -R\frac{dV}{dn}.$$

Принимая за единицу длины сантиметръ, будемъ имѣть:

$$R = 7.10^8, \frac{dV}{dn} = 13 \text{ и } V = -9.10^9.$$

Для опредѣленія же поверхностной плотности, внося въ формулу (5) численныя значенія, получимъ: $\mu = -1.035$, или же въ абсолютныхъ электростатическихъ единицахъ $\mu = -0.0035$ [1]).

Такъ опредѣляется количество электричества, находящееся на каждомъ квадратномъ сантиметрѣ земной поверхности, а

---

[1]) Вольтъ соотвѣтствуетъ 0.0033 абсолютной электростатической единицы.

весь электрическій зарядъ земного шара въ абсолютныхъ электростатическихъ единицахъ $M=R. V=-2.10^{16}$.

Наконецъ мы можемъ еще опредѣлить электростатическое давленіе, или силу, съ которою стремится зарядъ на каждомъ квадратномъ сантиметрѣ отдѣлиться отъ земной поверхности, по формулѣ:

$$K=2\pi\mu^2 \qquad (6).$$

Сила эта, равная 0.000077 дины, настолько ничтожна, что едва-ли можетъ быть обнаружена какимъ либо способомъ.

Интересно еще прослѣдить ходъ поверхности уровня непосредственно у земной поверхности, въ зависимости отъ распредѣленія водяныхъ паровъ въ атмосферѣ.

Такъ какъ нѣтъ непосредственныхъ наблюденій, представляющихъ географическое распредѣленіе водяныхъ паровъ въ низшихъ слояхъ атмосферы, то Экснеръ, воспользовавшись новѣйшими данными относительно среднихъ температуръ въ широтахъ сѣвернаго полушарія, вычислилъ содержаніе водяныхъ паровъ при относительной влажности въ 70%, какъ это показываетъ прилагаемая таблица [1]).

φ	Январь		Іюль		Среднія годовыя	
	T	p	T	p	T	p
0	+26.2	17.6	+25.4	16.8	+25.9	17.3
10	+25.7	17.0	+26.7	18.2	+26.4	17.9
20	+21.7	13.4	+28.1	19.7	+25.6	17.1
30	+13.9	8.3	+27.3	19.0	+20.3	12.4
40	+ 3.9	4.3	+23.8	15.2	+14.0	8.4
50	— 7.2	1.8	+18.1	10.8	+ 5.6	4.7
60	—15.9	0.9	+14.1	8.4	— 0.8	3.0
70	—25.4	0.5	+ 7.2	5.3	— 9.9	1.5
80	—32.0	0.3	+ 2.6	3.9	—16.5	0.9
90	—36.0	0.2	+ 2.0	3.7	—20.0	0.6

[1]) Spitaler. Wiener Acad. Denkschriften. Bd. 51, 1886.

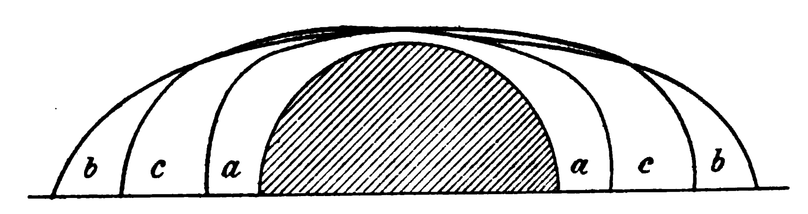
На основаніи полученныхъ данныхъ вычислены были по формулѣ (4) нормальныя паденія потенціала у земной поверхности черезъ каждыя 10° широты для января, іюля и для цѣлаго года.

φ	Январь		Іюль		Среднія годовыя	
	$\frac{dV}{dn}$	h	$\frac{dV}{dn}$	h	$\frac{dV}{dn}$	h
0	54	18.5	56	4.0	55	13.1
10	56	17.8	52	4.3	53	13.6
20	70	14.3	48	4.7	56	12.9
30	109	9.2	49	4.6	75	9.6
40	182	5.4	62	3.6	108	6.7
50	393	2.5	86	2.5	183	3.9
60	591	1.7	108	2.1	265	2.7
70	812	1.2	164	1.3	448	1.6
80	928	1.1	213	1.0	591	1.2
90	1000	1.0	224	1.0	722	1.0

Изъ прилагаемой таблицы можно видѣть, что въ январѣ у полюса на высотѣ 1 метра потенціалъ равенъ 1000 в., а у экватора такой же потенціалъ на высотѣ большей и при томъ въ отношеніи 1000: 54, такъ какъ въ тоже время на высотѣ одного метра у экватора потенціалъ всего только 54.

Такимъ образомъ h даетъ высоту того потенціала, который у полюса на высотѣ одного метра, и на основаніи этой таблицы легко воспроизвести ходъ эквипотенціальныхъ поверхностей.

На фигурѣ (3) кривая a представляетъ ходъ эквипотенціальной поверхности для іюля, b для январѩ и c для цѣлаго года. Такъ какъ всѣ три эти поверхности уровня проходятъ черезъ одну и туже точку на полюсѣ, то, очевидно, онѣ построены по различнымъ масштабамъ, но это, конечно, нисколько не вліяетъ на ихъ форму.



Фиг. 3.

Чертежъ наглядно показываетъ, какъ скучены у полюса поверхности уровня, въ особенности за январь и за цѣлый годъ. Паденіе потенціала въ полярныхъ странахъ лѣтомъ въ 4 раза, а зимою въ 18 разъ больше, нежели на экваторѣ.

Сила, съ которою зарядъ стремится оставить земную поверхность, пропорціональна квадрату напряженія электрическаго поля, и потому она въ полярныхъ странахъ зимою въ 324 раза превосходитъ силу электрическаго отталкиванія на экваторѣ.

Въ этомъ явленіи, по всей вѣроятности, и слѣдуетъ искать причину сѣверныхъ сіяній, столь частыхъ во время зимнихъ мѣсяцевъ въ полярныхъ странахъ.

ГЛАВА V.

Общее заключеніе.

§ 14. *Электрическіе разряды въ атмосферѣ.* Новѣйшія изслѣдованія актино-электрической энергіи солнечныхъ лучей, въ связи съ выводами Экснера относительно отрицательнаго заряда земной коры, безъ сомнѣнія, проливаютъ новый свѣтъ на электрическія явленія, происходящія въ нашей атмосферѣ.

Мысль, что лучи солнца играютъ существенную роль въ явленіяхъ атмосфернаго электричества, не нова. Она была высказана еще Кетле: «кажется», говоритъ онъ, «солнце слѣ-

дуетъ считать основною причиною электрическихъ явленій, которыя происходятъ вокругъ насъ» [1]). Туже мысль высказывалъ и Мюри [2]).

Наконецъ въ 1888 году Арреніусъ, исходя изъ того основного положенія, что подъ вліяніемъ ультра-фіолетовыхъ лучей солнца, атмосферный воздухъ становится проводникомъ отрицательнаго заряда земного шара, сдѣлалъ попытку къ объясненію электрическихъ явленій въ атмосферѣ [3]).

Предположимъ, говоритъ Арреніусъ, что на высотѣ 1000 метровъ надъ земною поверхностью находится 8 капель радіуса ρ и при такихъ относительныхъ разстояніяхъ, что онѣ не могутъ замѣтно вліять другъ на друга.

Если, благодаря лучамъ солнца, на каждую каплю перейдетъ такой зарядъ отрицательнаго электричества Q, что потенціалъ ея сдѣлается равнымъ потенціалу земли, то

$$\frac{M}{r+1000}-\frac{M}{r}+\frac{Q}{\rho}=0,$$

гдѣ M—электрическій зарядъ и r — радіусъ земнаго шара. Но $\frac{M}{r+1000}-\frac{M}{r}$ означаетъ разность потенціаловъ на высотѣ 1000 м. и у земной поверхности. Если предположить, что эта разность равна 600000 вольтъ, то, очевидно, $\frac{Q}{\rho}=-600000$ вольтъ. Допустимъ теперь, что эти 8 капель сгустились въ одну каплю (двойного радіуса); тогда, очевидно, разность потенціаловъ вновь образовавшейся капли и земли будетъ:

$$\frac{8Q}{2\rho}+600000=-1800000 \text{ вольтъ.}$$

Такимъ образомъ *сгущеніе водяныхъ паровъ въ атмосферѣ должно въ значительной степени способствовать усиленію*

[1]) Quetelet: Meteorologie de la Belgique p. 259. Bruxelles 1867.

[2]) Mühry: Zeitschr. der Österr. Ges. für Meteor. Bd. 8 p. 130.

[3]) Svante Arrhenius: «Ueber den Einfluss der Sonnenstrahlung auf die elektrischen Erscheinungen in der Erdatmosphäre». Meteorol. Zeitschrift, p. 297, 348. 1888.

напряженія электрическаго поля, гдѣ сливаются тысячи подобныхъ водяныхъ частицъ въ болѣе крупныя капли.

Поэтому весьма возможно придти къ заключенію, что двѣ причины главнымъ образомъ обусловливаютъ разряды грозового электричества:

1. Дѣйствіе ультра-фіолетовыхъ лучей солнечной радіаціи.
2. Извѣстное гигрометрическое состояніе воздуха.

Послѣднее заключеніе согласуется также съ выводами ученыхъ, спеціально занимавшихся изслѣдованіемъ условій развитія и распространенія грозъ.

Такъ профессоръ А. В. Клоссовскій [1]) говоритъ: «факторами, способствующими электрическимъ разрядамъ, являются: болѣе высокая температура, извѣстная степень влажности и значительное количество осадковъ. Только комбинаціей этихъ трехъ факторовъ можно объяснить всѣ особенности въ распредѣленіи грозовой дѣятельности, какъ въ пространствѣ, такъ и во времени».

Довольно обильные осадки Прибалтійскаго края парализуются низкою температурою и значительною влажностью; поэтому число грозъ на побережьяхъ Балтійскаго моря сравнительно не велико; обратно, отсутствіе осадковъ по берегамъ Каспійскаго моря есть прямая причина слабой грозовой дѣятельности. Высокая температура и огромное количество осадковъ на восточныхъ берегахъ Черного моря непосредственно влекутъ за собою усиленіе грозъ въ Поти и Даховскомъ посадѣ. Болѣе обильные осадки, выпадающіе въ юго-западномъ краѣ, даютъ въ грозовомъ отношеніи перевѣсъ надъ бѣдными водою степями Новороссіи. Связь между осадками и грозами замѣтна не только въ географическомъ распредѣленіи, но также и въ годовыхъ періодахъ. На огромномъ пространствѣ Европейской Россіи преобладаютъ грозы лѣтнія; изъ таблицъ же осадковъ видно, что средняя и сѣверная Россія находится въ области преобладанія іюльскихъ дождей; въ южной Россіи и на Кав-

[1]) А. Клоссовскій. Грозы въ Россіи, стр. 33.

казѣ максимумъ дождя падаетъ на іюнь; подобное распредѣленіе вполнѣ совпадаетъ съ годовымъ ходомъ грозъ. Въ полосѣ преобладанія іюньскихъ дождей можно замѣтить второй, болѣе слабый, максимумъ въ ноябрѣ; но онъ не сопровождается грозами, потому что въ ноябрѣ термическія условія воздуха не благопріятствуютъ электрическимъ разрядамъ.

Далѣе профессоръ Клоссовскій, приводя въ связь географическое распредѣленіе грозъ съ движеніемъ циклоновъ, говоритъ [1]: «но одни пути циклоновъ еще не опредѣляютъ числа грозъ; необходимы еще, какъ мы видѣли, извѣстныя мѣстныя условія, которыя бы благопріятствовали электрическимъ разрядамъ; такими благопріятными условіями являются высокая температура и извѣстное гигрометрическое состояніе, а также, по всей вѣроятности, *отсутствіе въ воздухѣ воды въ видѣ туманныхъ пузырьковъ и ледяныхъ иглъ*».

Очевидно, что небо совершенно покрытое облаками, а также значительное обиліе воды въ атмосферѣ обусловливаютъ сильное ослабленіе солнечной радіаціи, вслѣдствіе чего являются условія, не благопріятныя развитію грозовой дѣятельности.

«Грозовыя полосы расположены рѣзко въ поясѣ 755—760 м.м. и отчасти 750—755 м.м., т. е. на окраинахъ циклоновъ, на границѣ минимумовъ и максимумовъ; съ другой стороны, изъ непосредственнаго сравненія грозовыхъ дней съ минимумами видно, что циклоны, приносящіе грозы, принадлежатъ къ категоріи слабыхъ вихрей» [2].

§ 15. *Распредѣленіе грозъ на земной поверхности.* Тѣсная связь электрическихъ разрядовъ въ атмосферѣ, при усиленномъ напряженіи солнечной радіаціи, съ обильными осадками, подтверждается позднѣйшими изслѣдованіями профессора А. В. Клоссовскаго относительно географическаго распредѣленія грозъ на земной поверхности [3].

---

[1] А. Клоссовскій. Грозы въ Россіи, стр. 34.

[2] А. Клоссовскій. Грозы въ Россіи, стр. 87.

[3] Метеорол. обозрѣніе. Десятилѣтіе 1886—1895. Стр. 1.

На составленной профессоромъ Клоссовскимъ картѣ различные оттѣнки краснаго и зеленаго цвѣта соотвѣтствуютъ различной годовой повторяемости разрядной дѣятельности, какъ показываетъ шкала, нанесенная на лѣвой сторонѣ карты. По обѣ стороны экватора, соотвѣтственно поясу наиболѣе обильныхъ осадковъ, тянется зона усиленной электрической дѣятельности. Въ Азіи съ Австраліей эта зона, съ годовымъ числомъ грозъ до 100 и болѣе, тянется отъ подножія Гималая, черезъ Индо-Китай, Зондскіе острова, къ Новой Гвинеѣ, вполнѣ совпадая съ областью наиболѣе обильныхъ осадковъ.

Въ Африкѣ область весьма интенсивной грозовой дѣятельности простирается отъ 5°—10° с. ш. на западныхъ ея берегахъ и до 10°—15° ю. ш. на берегахъ восточныхъ. Какъ относительно грозовой дѣятельности, такъ и орошенія восточные берега южной Африки гораздо богаче западныхъ.

Въ Новомъ Свѣтѣ поясъ усиленной электрической дѣятельности тянется отъ 22° с. ш. до 25° ю. ш., захватывая сосѣдніе Вестъ-Индскіе острова. Здѣсь годовое число грозъ также достигаетъ 100 и болѣе; но въ узкой полосѣ западнаго побережья южной Америки, бѣдной осадками, число грозъ падаетъ до минимума.

Къ сѣверу отъ электрической зоны грозовая дѣятельность значительно ослабѣваетъ. Здѣсь тянется поясъ материковыхъ пустынь, гдѣ слабое орошеніе соотвѣтствуетъ крайне пониженной грозовой дѣятельности. Въ самомъ дѣлѣ, въ пустыняхъ сѣверной Африки, въ Египтѣ, Аравіи, Сиріи, Персіи, и даже на сѣверныхъ берегахъ Африки, Азорскихъ островахъ и въ юго-западной части Пиринейскаго полуострова грозы весьма рѣдки.

На материкѣ Стараго Свѣта, къ сѣверу отъ этой области пустынь, грозовая дѣятельность, въ связи съ повышеніемъ температуры и осадковъ, вновь усиливается. Годовое число грозъ во всей южной и средней Европѣ, отъ береговъ Атлантическаго

океана до Урала, вообще превышаетъ 15, при чемъ въ Италіи и у сѣверо-восточныхъ береговъ Адріатическаго моря значительно усиливается, доходя даже до 50. Отсюда область интенсивныхъ разрядовъ черезъ Боснію, Сербію, Трансильванію, среднюю Бессарабію, южную часть губерній Подольской и Кіевской направляется къ Тамбову, Симбирску и далѣе къ Уралу.

Разрядная дѣятельность повышается также въ западной части Кавказа, въ полосѣ обильныхъ осадковъ. По мѣрѣ же перемѣщенія къ юго-востоку Европы происходитъ постепенный переходъ къ той средне-азіатской области, которая бѣдна какъ грозами, такъ и атмосферными осадками.

Въ Сибири за Ураломъ находится цѣлая область, въ которой грозовая дѣятельность гораздо слабѣе, чѣмъ на самомъ Уралѣ; но далѣе къ востоку грозовая энергія опять возрастаетъ, при чемъ замѣчается постепенный переходъ къ электрическому очагу Зондскихъ острововъ.

Насколько можно судить на основаніи имѣющихся данныхъ, въ восточныхъ штатахъ Сѣверной Америки, лучше орошенныхъ, годовое число грозъ колеблется между 20 и 30. Далѣе къ сѣверу число грозъ быстро уменьшается. Такъ въ Аляскѣ (62°7′ с. ш.) ежегодно грозъ бываетъ не болѣе 4, а на полярной станціи въ Гоотгабѣ (64°2′) въ теченіе 13 мѣсяцевъ не наблюдали ни одной грозы. Между тѣмъ грозовая дѣятельность въ соотвѣтственныхъ широтахъ Стараго Свѣта гораздо интенсивнѣе. Въ Туруханскѣ, лежащемъ подъ 65°55′ с. ш., годовое число грозъ болѣе 8, а въ Соданкулѣ (67°27′ с. ш.) въ теченіе 1882 и 1883 г. замѣчено было 15 грозъ. Вмѣстѣ съ тѣмъ извѣстно, что кольцо полярныхъ сіяній, охватывающее сѣверный полюсъ земли, надъ западнымъ полушаріемъ значительно сдвинуто къ югу, по сравненію съ восточнымъ. По всей вѣроятности, тихіе электрическіе разряды, обусловливающіе полярныя сіянія, являются на смѣну грозовой дѣятельности.

§ 16. *Значеніе актино-электрическихъ изслѣдованій.* Электрическій потенціалъ атмосферы обусловливаетъ явленія грозы, града, полярныхъ сіяній и, по всей вѣроятности, оказываетъ вліяніе также на земные токи.

Систематическое изученіе напряженія электрическаго поля въ атмосферѣ представляетъ такимъ образомъ огромный научный интересъ; между тѣмъ до настоящаго времени ходъ измѣненій электрическаго потенціала въ атмосферѣ весьма мало изслѣдованъ.

Суточный ходъ напряженности электрическаго поля, даже при ясной погодѣ, какъ показали наблюденія, представляется весьма сложнымъ. Восходящія и нисходящія теченія въ атмосферѣ, безъ сомнѣнія, играютъ большую роль въ измѣненіяхъ напряженія электрическаго поля, вслѣдствіе чего и существуетъ нѣкоторая аналогія въ суточномъ ходѣ барометрическихъ колебаній и напряженія электрическаго поля.

Въ то время, какъ профессоръ Рагона пытается найти причинную связь между этими двумя явленіями, Экснеръ даетъ аналитическую зависимость между напряженіемъ электрическаго поля и упругостью водяныхъ паровъ въ атмосферѣ.

Связь наблюдается также между напряженіемъ электрическаго поля и неправильными колебаніями барометра, которыя обусловливаются главнымъ образомъ циклонами и антициклонами. Вслѣдствіе этого явилось предположеніе, не могутъ ли наблюденія атмосфернаго электричества служить для опредѣленія погоды въ ближайшемъ будущемъ.

Произведенныя съ этою цѣлью Мендельголемъ [1]) наблюденія въ Вашингтонѣ, Балтиморѣ и въ нѣкоторыхъ другихъ пунктахъ сѣв. Америки привели къ отрицательнымъ выводамъ. Такъ между прочимъ авторъ приходитъ къ заключенію, что

---

[1]) Mendelhall: Report of Studies of Atmospher. Electricity 1889.

«отрицательное электричество», по временамъ наблюдаемое въ атмосферѣ, не находится, повидимому, ни въ какой связи ни съ предшествующими, ни съ настоящими и ни съ послѣдующими осадками, а обусловливается часто совершенно мѣстными причинами.

Очевидно, для изученія измѣненій и колебаній электрической напряженности, въ виду сложности явленія, необходимо сопоставленіе хода электрическаго потенціала съ ходомъ различныхъ метеорологическихъ элементовъ.

Если ультра-фіолетовые лучи солнца способствуютъ, какъ мы видѣли, переходу отрицательнаго заряда земного шара въ атмосферу, то естественно, для рѣшенія вопроса прежде всего необходимо сопоставленіе хода электрическаго потенціала земли съ напряженіемъ актиническихъ лучей солнечной радіаціи.



ПРИЛОЖЕНІЕ.

I

Время наблюденія	Напряж. солн. луч. вычисленное			Напряж. солнечн. лучей наблюденное	Облачность	Зенитное разстояніе солнца
	i_1	i_2	$J=i_1+i_2$			
18(30) іюня 1890 г.						
10ч. 3'утр.	1 16845	0.21954	1.38799	1.1525	0	33°34'20"
11 » 3' »	1.19263	0.26042	1.45305	1.2831	0	26°16'50"
3 » 3'пол.	1.12366	0.15842	1.28208	1.27991	0	42°47'0"
4 » 3' »	1.04620	0.08727	1.13347	1.13245	0	52°56'10"
5 » 33' »	0.81475	0.01086	0.82561	0.81960	0	68°21'10"
6 » 3' »	0.67866	0.00236	0.68102	0.64213	0	73°22'15"
6 » 33' »	0.49137	0.00016	0.49153	0 35145	0	78°15'10"
6 » 48' »	0.37492	0.00002	0.37494	0.33892	0	80°38'16"
7 » 3' »	0.24661	0.00000	0.24661	0.21586	0	82°58'29"
19 іюня (1 іюля) 1890 г.						
9ч. 3'утр.	1.12252	0.15700	1.27952	1.21853	0	42°59'7"
10 » 3' »	1.16775	0.21845	1.38620	1.35482	0	33°45'9"
11 » 33' »	1.19812	0.27070	1.46882	1.30596	0	24° 9'45"
12 » 3' дня	1.20008	0.27437	1.47445	1.40965	0	23°21'30"
1 » 3'пол.	1.19265	0.26054	1.45319	1.40842	0	26°15'20"
21 іюня (3 іюля) 1890 г.						
9ч. 3'утр.	1.12145	0.15584	1.27729	1.21548	0	43° 9' 8"
10 » 3' »	1.16749	0.21803	1.38552	1.34896	0	33°49'10"
11 » 3' »	1.19191	0.25916	1.45107	1.39561	0	26°31'40"
12 » 3' дня	1.19970	0.27368	1.47338	1.40963	0	23°30'40"
1 » 3'пол.	1.19236	0.26001	1.45237	1.40856	0	26°21'30"
2 » 3' »	1.16849	0.21960	1.38809	1.35696	0	33°33'48"
3 » 3' »	1.12348	0.15788	1.28136	1.23586	0	42°51'77"
4 » 3' »	1.04573	0.08697	1.13270	1.13073	0	52°58'54"

Время наблюденія	Напряж. солн. луч вычисленное i_1	i_2	$J=i_1+i_2$	Напряж. солнечн. лучей наблюденное	Облачность	Зенитное разстояніе солнца
5ч. 3′пол.	0.91282	0.02796	0.94078	0.89981	0	63°17′30″
5 »33′ »	0.81385	0.01073	0.82458	0.81528	0	68°24′20″
6 » 3′ »	0.67704	0.00231	0.67935	0.61396	0	73°25′30″
6 »33′ »	0.48836	0.00015	0.48851	0.42896	0	78°19′ 7″
6 »48′ »	0.37143	0.00002	0.37145	0.35196	0	80°42′25″
7 » 3′ »	0.24189	0.00000	0.24189	0.22143	0	83° 2′56″
2(14) іюля 1890 г.						
8ч. 3′утр.	1.03130	0.07743	1.10873	0.99615	0	54°25′15″
9 » 3′ »	1.11415	0.14759	1.26174	1.04582	0	44°19′20″
10 » 3′ »	1.16240	0.21024	1.37264	1.35864	0	35° 3′40″
12 » 3′ дня	1.19653	0.26765	1.46418	1.34748	0	24°48′ 9″
1 » 3′пол.	1.18940	0.25463	1.44403	1.34698	0	27°24′30″
3 » 3′ »	1.11925	0.15330	1.27255	1.34845	0	43°30′51″
4 » 3′ »	1.03992	0.08300	1.22292	1.20548	0	53°34′30″
5 » 3′ »	0.90255	0.02544	0.92799	0.90425	0	63°53′37″
6 » 3′ »	0.65561	0.00177	0.65738	0.61451	0	74° 3′43″
16(28) іюля 1890 г.						
9ч. 3′утр.	1.11379	0.14719	1.26098	1.25941	1	44°22′50″
10 » 3′ »	1.15997	0.20651	1.36648	1.25645	1	35°39′ 8″
12 » 3′ дня	1.18886	0.25368	1.44254	1.3145	1	27°35′20″
1 » 3′пол.	1.17801	0.23503	1.41304	1.30548	1	30°58′20″
2 » 3′ »	1.14835	0-18991	1.33826	1.3101	0	38°11′26″
4 » 3′ »	0.99706	0.05841	1.05547	1.0054	0	57°27′23″
5 » 3′ »	0.82798	0.01240	0.84038	0.8059	0	67°46′30″
6 » 3′ »	0.62755	0.00122	0.62877	0.54321	0	74°53′15″

Время наблюденія	Напряж. солн луч. вычисленное i_1	i_2	$J=i_1+i_2$	Напряж. солнечн. лучей наблюденное	Облачность	Зенитное разстояніе солнца
17(29) іюля 1890 г.						
10ч. 3′ утр.	1.15909	0.20529	1.36438	1.22456	1	35°50′30″
11 » 3′ »	1.18255	0.24264	1.42519	1.25586	0	29°37′47″
12 » 3′ дня	1.18822	0.25256	1.44078	1.20895	0	27°48′ 9″
1 » 3′ пол	1.17728	0.23379	1.41107	1.19641	0	31°11′17″
2 » 3′ »	1.14745	0.18869	1.33614	1.12861	0	38°22′37″
3 » 3′ »	1.09186	0.12466	1.21652	1.20846	0	47°33′20″
4 » 3′ »	0.99506	0.05745	1.05251	1.01561	0	57°37′ 7″
5 » 3′ »	0.82441	0.01195	0.83631	0.78654	0	67°55′56″
6 » 3′ »	0.62247	0.00114	0.62361	0.59421	0	75° 1′20″
21 іюля (2 августа) 1890 г.						
10ч. 3′ утр.	1.15525	0.19969	1.35494	1.34596	1	36°42′27″
11 » 3′ »	1.17936	0.23723	1.41659	1.39956	2	30°35′20″
12 » 3′ дня	1.18523	0.24728	1.43251	1.42589	4	28°44′20″
2 » 3′ пол.	1.14359	0.18345	1.32704	1.31756	4	39° 8′56″
3 » 3′ »	1.08662	0.11976	1.20638	1.20235	3	48° 5′ 0″
4 » 3′ »	0.98692	0.05365	1.04057	1.03956	2	58°16′ 7″
5 » 3′ »	0.80962	0.01027	0.81989	0.80456	0	68°35′ 4″
6 » 3′ »	0.59528	0.00079	0.59607	0.58175	0	75°45′17″
22 іюля (3 августа) 1890 г.						
10ч. 3′ утр.	1.15465	0.19873	1.35338	1.31456	0	36°51′10″
12 » 3′ дня	1.18439	0.24581	1.43040	1.31596	0	29° 3′26″
1 » 3′ пол.	1.17303	0.22682	1.39985	1.30571	0	32°22′ 9″
2 » 3′ »	1.14210	0.18127	1.32337	1.20054	0	39°26′26″
3 » 3′ »	1.08436	0.11775	1.20211	1.20594	0	48°32′ 0″
4 » 3′ »	0.98330	0.05202	1.03532	1.03141	0	58°33′ 0″
5 » 3′ »	0.80297	0.00959	0.81256	0.80951	0	68°51′52″
6 » 3′ »	0.59211	0.00075	0.59286	0.54451	0	75°50′24″

Время наблюденія	Напряж. солн. луч. вычисленное i_1	i_2	$J = i_1 + i_2$	Напряж. солнечн. лучей наблюденное	Облачность	Зенитное разстояніе солнца
23 іюля (4 августа) 1890 г.						
10ч. 3′ утр.	1.15313	0.19666	1.34979	1.30159	0	37°10′10″
11 » 3′ »	1.17756	0.23427	1.41183	1.39149	0	31° 6′ 8″
12 » 3′ дня	1.18358	0.24444	1.42802	1.40195	0	29°18′20″
1 » 3′ поп.	1.17240	0.22585	1.39825	1.37756	0	32°32′ 0″
2 » 3′ »	1.14154	0.18075	1.32229	1.30175	0	39°33′ 7″
3 » 3′ »	1.08384	0.11722	1.20106	1.20056	0	48°36′28″
4 » 3′ »	0.98257	0.05169	1.03426	1.02942	0	58°36′25″
5 » 3′ »	0.80179	0.00947	0.81126	0.80156	0	68°55′16″
6 » 3′ »	0.57986	0.00063	0.58049	0.54586	0	76° 9′26″
24 іюля (5 августа) 1890 г.						
9ч. 3′ утр.	1.10325	0.13589	1.23914	1.22154	1	45°57′50″
10 » 3′ »	1.15203	0.19507	1.34710	1.32451	1	37°24′50″
11 » 3′ »	1.17666	0.23271	1.40937	1.39985	2	31°21′45″
12 » 3′ дня	1.18273	0.24293	1.42566	1.40542	4	29°34′30″
1 » 3′ поп.	1.17145	0.22430	1.39575	1.38151	3	32°47′15″
1 (13) августа 1890 г.						
10ч. 3′ утр.	1.14169	0.18095	1.32264	1.30152	1	39°31′20″
11 » 3′ »	1.16803	0.21907	1.38710	1.35941	2	33°38′50″
12 » 3′ дня	1.17483	0.22978	1.40461	1.39848	1	31°52′15″
1 » 3′ поп.	1.16333	0.21162	1.37495	1.33564	4	34°50′47″
2 » 3′ »	1.13096	0.16719	1.29815	1.24584	2	41°31′32″
3 » 3′ »	1.06966	0.10502	1.17468	1.15281	3	50°21′ 0″
4 » 3′ »	0.96048	0.04276	1.00324	1.00010	2	60°13′56″
2 (14) августа 1890 г.						
10ч. 3′ утр.	1.14024	0.17903	1.31927	1.29451	2	39°48′24″
11 » 3′ »	1.16694	0.21715	1.38409	1.31541	0	33°57′30″

Время наблюденія	Напряж. солн. луч. вычисленное			Напряж. солнечн. лучей наблюденное	Облачность	Зенитное разстояніе солнца
	i_1	i_2	$J=i_1+i_2$			
12ч. 3′ дня	1.17374	0.22799	1.40173	1.39945	0	32°10′30″
1 » 3′пол.	1.16217	0.20991	1.37208	1.32591	0	35° 7′ 0″
2 » 3′ »	1.12964	0.16559	1.29523	1.20915	0	41°45′27″
3 » 3′ »	1.06789	0.10358	1.17147	1.16425	3	50°33′20″
4 » 3′ »	0.95778	0.04177	0.99955	0.91954	3	60°25′20″
5 » 3′ »	0.75686	0.00585	0.76271	0.71548	0	70°42′17″
5(17) августа 1890 г.						
9ч. 3′утр.	1.08050	0.11446	1.19496	1.18451	0	48°59′54″
10 » 3′ »	1.13550	0.17292	1.30842	1.30054	0	40°41′58″
11 » 3′ »	1.16307	0.21125	1.37432	1 36542	3	34°54′15″
1 » 3′пол.	1.15860	0.20456	1.36316	1.35141	3	35°57′15″
3 » 3′ »	1.06273	0.09924	1.16197	1 15426	0	51°10′50″
4 » 3′ »	0.94934	0 03879	0.98813	0.93547	5	60°59′58″
5 » 3′ »	0.74966	0.00540	0.75506	0.71459	1	70°58′13″
6(18) августа 1890 г.						
9ч. 3′утр.	1.07846	0.11247	1.19093	1.09451	0	49°17′ 0″
10 » 3′ »	1.13386	0.17082	1.30468	1.29487	0	41° 0′ 7″
12 » 3′ дня	1.16901	0.22040	1.38941	1.27871	0	33°25′50″
3 » 3′пол.	1.06051	0.09776	1.15827	1.13541	0	51°23′44″
4 » 3′ »	0.94640	0.03780	0.98420	0.91495	0	61°11′49″
13(25) августа 1890 г.						
7ч. 3′утр.	0.74785	0.00530	0.75315	0.70415	0	71° 2′15″
9 » 3′ »	1.06058	0.09782	1.15840	1.09561	0	51°23′20″
9 »18′ »	1.07924	0.11314	1.19238	1.16946	0	49°11′16″
9 »33′ »	3.09529	0.12798	1.22327	1.20841	0	47° 5′20″
9 »48′ »	1.10909	0.14207	1.25116	1.22654	0	45° 6′ 9″
10 » 3′ »	1.12083	0.15543	1.27626	1.25843	0	43°15′ 6″

Время наблюденія	Напряж. солн. луч. вычисленное			Напряж. солнечн. лучей вычисленное	Облачность	Зенитное разстояніе солнца
	i_1	i_2	$J=i_1+i_2$			
12ч.48′ дня	1.15258	0.19585	1.34843	1.33216	0	37°17′49″
1 » 3′поп.	1.14768	0.18901	1.33669	1.30581	0	38°19′36″
1 »48′ »	1.12417	0.15905	1.28322	1.26584	0	42°41′40″
2 »33′ »	1.08456	0.11789	1.20245	1.19954	0	48°30′50″
2 »48′ »	1.06835	0.10268	1.17136	1.16591	0	50°41′ 4″
3 » 3′ »	1.04611	0.08721	1.13332	1.12542	0	52°56′44″
3 »48′ »	0.96200	0.04333	1.00533	1.05841	0	60° 7′27″
4 »48′ »	0.76870	0.00663	0.77533	0.71684	0	70°15′10″
5 » 3′ »	0.69562	0.00289	0.69851	0.67461	0	72°49′55″
5 »18′ »	0.67919	0.00237	0.68156	0.66289	0	73°21′ 1″
5 »33′ »	0.50261	0.00019	0 50280	0.50024	0	78° 0′ 3″
6 » 3′ »	0.23627	0.00000	0.23627	0.22489	0	83° 8′37″
6 »18′ »	0.09852	0.00000	0.09852	0.08915	0	85°41′30″
8(20) сентября 1890 г.						
8ч. 3′утр.	0.78562	0.00799	0.79361	0.75415	0	69°35′16″
8 »33′ »	0.88446	0.02148	0.90594	0.91426	0	64°53′26″
9 » 3′ »	0.95710	0.04152	0.99862	0.98586	0	60°28′ 8″
9 »18′ »	0.98009	0.05061	1.03070	1.03689	0	58°47′49″
9 »33′ »	1.01096	0.06551	1.07653	1.07542	0	56°16′53″
11 » 3′ »	1.09228	0.12506	1 21734	1.20586	0	47°29′56″
12 » 3′ дня	1.10686	0.13787	1.24473	1.23981	0	45°26′15″
1 » 3′поп.	1.09529	0.12798	1.22327	1.21963	0	47° 5′20″
1 »18′ »	1.08810	0.12114	1.20924	1.20186	0	48° 3′17″
1 »33′ »	1.07948	0.11294	1.19242	1.18654	0	49°13′ 4″
2 » 3′ »	1.05426	0.09305	1.14731	1.09186	0	52° 4′57″
2 »33′ »	1.01911	0.07012	1.08923	1.09654	0	55°33′26″
3 » 3′ »	0.97039	0.04666	1.01705	1.01156	0	59°31′17″
3 »33′ »	0.90288	0.02552	0.92840	0.89654	0	63°52′29″
9(21) сент. 1890 г.						
9ч. 3′утр.	0.95171	0.03957	0.99128	0.94321	0	60°50′20″
9 »33′ »	1.00506	0.06245	1.06751	1.08452	0	56°47′18″

Время наблюденія	Напряж. солн. луч. вычисленное			Напряж. солнечн. лучей наблюденное	Облачность	Зенитное разстояніе солнца
	i_1	i_2	$J=i_1+i_2$			
10ч. 3′утр.	1.04360	0.08540	1.12900	1.10542	0	53°12′10″
10 » 33′ »	1.07090	0.10606	1.17696	1.17543	0	50°11′58″
11 » 3′ »	1.08929	0.12225	1.21154	1.16584	0	47°53′50″
11 » 33′ »	1.10013	0.13276	1.23289	1.15421	0	46°24′50″
12 » 33′ дня	1.10173	0.13444	1.23617	1.16584	0	46°10′40″
1 » 3′пол.	1.09265	0.12543	1.21808	1.16985	0	47°26′56″
1 » 33′ »	1.07627	0.11056	1.18683	1.12842	0	49°33′20″
2 » 3′ »	1.05132	0.09091	1.14223	1.11542	0	52°23′50″
3 » 3 »	0.96657	0.04508	1.01165	1.01245	0	59°47′53″
3 » 33′ »	0.89832	0.02446	0.92278	0.91547	0	64° 7′54″
4 » 3′ »	0.80532	0.00983	0.81515	0.82954	0	68°46′ 0″
4 » 33′ »	0.67056	0.00213	0.67269	0.65755	0	73°37′20″
16(28)іюня 1891 г.						
8ч. 3′утр.	1.04659	0.08756	1.13415	1.05412	0	52°53′40″
9 » 3′ »	1.12380	0.15860	1.28240	1.09854	1	42°45′30″
10 » 3′ »	1.16907	0.22049	1.38956	1.24585	2	33°25′ 0″
11 » 3′ »	1.19301	0.26116	1.45417	1.30586	3	26° 7′50″
12 » 3′ дня	1.20052	0.27520	1.47572	1.36485	4	23°10′30″
1 » 3′пол.	1.19298	0.26109	1.45407	1.35716	3	26° 8′30″
2 » 3′ »	1.16898	0.22034	1.38932	1.25841	4	33°26′30″
3 » 3′ »	1.12363	0.15837	1.28200	1.19854	5	42°47′26″
18(30)іюня 1891 г.						
7ч. 3′утр.	0.91306	0.02802	0.94108	0.90561	0	63°17′ 8″
8 » 3′ »	1.04582	0.08702	1.13284	1.01574	1	52°58′28″
9 » 3′ »	1.12330	0.15802	1.28132	1.20854	0	42°50′26″
10 » 3′ »	1.16871	0.21998	1.38869	1.30965	1	33°42′20″
11 » 3′ »	1.19273	0.26062	1.45335	1.39754	3	26°13′50″
12 » 3′ дня	1.20027	0.27473	1.47500	1.42452	3	23°16′50″
2 » 3′пол.	1.16869	0.21989	1.38858	1.31058	4	33°30′50″
5 » 3′ »	0.91276	0.02795	0.94071	0.85421	6	63°18′ 8″
6 » 3′ »	0.67705	0.00231	0.67936	0.61054	5	73°25′ 0″
7 » 3′ »	0.24378	0.00000	0.24378	0.19856	5	83° 1′26″

Время наблюденія	Напряж. солн. луч. вычисленное i_1	i_2	$J=i_1+i_2$	Напряж. солнечн. лучей наблюденное	Облачность	Зенитное разстояніе солнца
19 іюня (1 іюля) 1891 г.						
7ч. 3′утр.	0.91081	0.02745	0.93826	0.85421	0	63°25′ 2″
8 » 3′ »	1.04454	0.08613	1.13067	0.99186	0	53° 6′24″
9 » 3′ »	1.12251	0.15710	1.27961	1.10156	0	42°58′20″
10 » 3′ »	1.16824	0.21918	1.38742	1.16542	0	33°37′50″
11 » 3′ »	1.19243	0.26011	1.45254	1.16943	0	26°20′20″
12 » 3′ дня	1.20011	0.27444	1.47455	1.16955	1	23°20′40″
1 » 3′пол.	1.19268	0.26058	1.45326	1.19654	1	26°14′40″
11(23)іюля 1891 г.						
7ч. 3′утр.	0.86689	0.01817	0.88506	0.87142	1	65°53′52″
8 » 3′ »	1.01874	0.06991	1.08865	0.98563	1	55°35′26″
9 » 3′ »	1.10611	0.13894	1.24505	1.02134	0	45°32′40″
10 » 3′ »	1.15666	0.20171	1.35837	1.15253	0	36°23′50″
11 » 3′ »	1.18344	0.24420	1.42764	1.26502	0	29°21′ 0″
12 » 3′ дня	1.19206	0.25995	1.45201	1.22781	1	26°22′10″
1 » 3′пол.	1.18515	0.24715	1.43230	1.15254	2	28°48′40″
2 » 3′ »	1.16040	0.20725	1.36765	1.03074	3	35°32′10″
3 » 3′ »	1.11277	0.14607	1.25884	1.07762	4	44°32′15″
4 » 3′ »	1.03014	0.07671	1.10685	1.01201	5	54°31′58″
5 » 3′ »	0.88531	0.02166	0.90697	0.81521	3	64°50′45″
6 » 3′ »	0.77216	0.00692	0.77908	0.66542	3	70° 7′15″
2(14) августа 1891 г.						
7ч.33′утр.	0.89376	0.02345	0.91721	0.83254	0	64°23′ 5″
8 » 3′ »	0.97324	0.04774	1.02098	0.97451	0	59°18′40″
9 » 3′ »	1.07670	0.11093	1.18763	1.03014	0	49°30′10″
10 » 3′ »	1.13449	0.17165	1.30614	1.20584	0	40°53′ 0″
11 » 3′ »	1.16455	0.21352	1.37807	1.28789	5	34°32′40″
3 » 3′пол.	1.07999	0.11379	1.19378	1.12443	6	49° 5′44″
4 » 3′ »	0.97930	0.05028	1.02958	0.99321	5	58°51′23″
5 » 3′ »	0.79703	0.00901	0.80604	0.98392	4	69° 6′40″

Время наблюденія	Напряж. солн. луч. вычисленное i_1	i_2	$J = i_1 + i_2$	Напряж. солнечн. лучей наблюденное	Облачность	Зенитное разстояніе солнца
15(27) августа 1891 г.						
8ч. 3′утр.	0.94332	0.03679	0.98011	0.84332	тум.	61°24′ 0″
9 » 3′ »	1.05145	0.09100	1.14245	1.05286	0	52°23′ 4″
10 » 3′ »	1.11500	0.14849	1.26349	1.13382	0	44°11′40″
12 » 3′ дня	1.15680	0.20194	1.35874	1.17134	0	36°21′40″
2 » 3′пол.	1.09664	0.12930	1.22594	1.10574	0	46°54′ 5″
3 » 3′ »	1.04646	0.08747	1.13393	1.12358	1	52°54′24″
4 » 3′ »	0.92615	0.03156	0.95771	0.87142	4	62°29′40″
5 » 3′ »	0.70011	0.00305	0.70316	0.68421	1	72°41′20″
22 августа (3 сентяб.) 1891 г.						
7ч.33′утр.	0.81117	0.01044	0.82161	0.75181	тум.	68°31′10″
8 » 3′ »	0.90880	0.02695	0.93575	0.91542	0	63°32′ 2″
9 » 3′ »	1.03391	0.07908	1.11299	1.01245	0	54°10′ 6″
10 » 3′ »	1.10144	0.13411	1.23555	1.21051	0	46°13′26″
11 » 3′ »	1.13526	0.17263	1.30789	1.30584	3	40°44′20″
12 » 3′ дня	1.14495	0.18529	1.33024	1.32596	4	38°52′50″
1 » 3′пол.	1.13290	0.16963	1.30253	1.31489	4	41°10′28″
2 » 3′ »	1.09605	0.12872	1.22477	1.21986	5	46°59′ 6″
3 » 3′ »	1.02376	0.07283	1.09659	1.09541	4	55° 7′50″
1(13) іюля 1894 г.						
7ч. 3′утр.	0.88938	0.02250	0.91188	0.68941	тум.	64°37′26″
7 »33′ »	0.97108	0.04685	1.01793	0.94581	0	59°28′20″
8 » 3′ »	1.03239	0.07812	1.11051	0.99584	0	54°18′58″
10 » 3′ »	1.16292	0.21102	1.37394	1.34591	1	34°56′30″
11 » 3′ »	1.18858	0.25300	1.44158	1.37481	2	27°43′ 7″
12 » 3′ дня	1.19696	0.26833	1.46529	1.35496	4	24°39′40″
1 » 3′пол.	1.18975	0.25528	1.44503	1.29846	4	27°17′10″
4 » 3′ »	1.04078	0.08358	1.12436	1.19864	4	53°29′18″

Время наблюденія	Напряж. солн. луч. вычисленное i_1	i_2	$J=i_1+i_2$	Напряж. солнечн. лучей наблюденное	Облачность	Зенитное разстояніе солнца
2(14) іюля 1894 г.						
6ч. 3'утр.	0.62784	0.00123	0.62907	0.09451	тум	74°52'30"
7 » 3' »	0.88722	0.02205	0.90927	0.89194	0	64°44'30"
8 » 3' »	1.03119	0.07736	1.10855	1.09451	0	54°25'56"
10 » 3' »	1.16237	0.21019	1.37256	1.29461	1	35° 4'20"
11 » 3' »	1.18826	0.25222	1.44048	1.39453	1	27°51'50"
1 » 3'поп	1.18939	0.25463	1.44402	1.39958	0	27°24'20"
3 » 3' »	1.11930	0.15337	1.27267	1.25428	0	43°30'10"
4 » 3' »	1.03997	0.08303	1.12300	1.11475	0	53°34'14"
5 » 3' »	0.90264	0.02546	0.92810	0.90584	0	63°53'19"
6 » 3'веч.	0.65561	0.00177	0.65738	0.59486	1	74° 3'36"
3(15) іюля 1894 г.						
7ч. 3'утр.	0.88492	0.02158	0.90650	0.89451	0	64°52' 0"
8 » 3' »	1.02985	0.07655	1.10640	1.09584	0	54°33'20"
10 » 3' »	1.16178	0.20931	1.37109	1.30491	0	35°12'40"
11 » 3' »	1.18760	0.25143	1.43903	1.37754	0	28° 0'50"
1 » 3'п-п.	1.18901	0.25394	1.44295	1.38576	0	27°32'30"
3 » 3' »	1.11871	0.15269	1.27140	1.26589	0	43°36' 0"
5 » 3' »	0.90113	0.02511	0.92624	0.90842	0	63°58'30"
6 » 3'веч.	0.65280	0.00170	0.65450	0.64596	0	74° 9'14"
12(24) іюля 1894 г.						
6ч. 3'утр.	0.59211	0.00075	0.59286	0.57941	0	75°50'24"
7 » 3' »	0.86328	0.01755	0.88083	0.87965	0	66° 4'56"
8 » 3' »	1.01668	0.06873	1.08541	1.08542	0	55°46'37"
10 » 3' »	1.15567	0.20168	1.35735	1.34586	0	36°36'57"
1 » 3'поп.	1.18469	0.24582	1.43051	1.38594	0	29° 3'20"
2 » 3' »	1.15951	0.20589	1.36540	1.35861	0	35°44'50"
3 » 3' »	1.11157	0.14475	1.25632	1.24995	0	44°43'30"
4 » 3' »	1.02825	0.07554	1.10379	1.10278	0	54°42'40"
5 » 33' »	0.77086	0.00682	0.77768	0.76784	0	70° 9'46"
6 » 3'веч.	0.61459	0.00103	0.61562	0.60415	0	75°14' 9"

Время наблюденія	Напряж. солн. луч. вычисленное			Напряж. солнечн. лучей наблюденное	Облачность	Зенитное разстояніе солнца
	i_1	i_2	$J=i_2+i_1$			
13(25)іюля 1894 г.						
8ч. 3′утр.	1.01499	0.06777	1.08276	1.06491	0	55°55′33″
9 » 3′ »	1.10344	0.13644	1.23988	1.22846	0	45°53′47″
10 » 3′ »	1.15487	0.19914	1.35401	1.34768	0	36°47′30″
11 » 3′ »	1.18201	0.24175	1.42376	1.41455	0	29°47′20″
12 »33′ дня	1.18943	0.25469	1.44312	1.42864	0	27°23′40″
3 » 3′пол.	1.11050	0.14359	1.25409	1.23465	0	44°53′14″
4 » 3′ »	1.02665	0.07456	1.10121	1.00221	0	54°51′43″
5 » 3′	0.88095	0.02078	0.90173	0.88245	0	65°10′30″
6 » 3′веч.	0.60905	0.00095	0.61000	0.59451	0	75°23′30″
12(24)августа 1894 г.						
6ч. 3′утр.	0.35288	0.00001	0.35289	0.29541	0	81° 3′28″
8 » 3′ »	0.95514	0.04082	0.99596	0.79945	0	60°36′16″
9 » 3′ »	1.06325	0.09991	1.16316	1.01542	0	51° 5′ 4″
11 » 3′ »	1.15270	0.19606	1.34876	1.28761	2	37°15′47″
12 » 3′ дня	1.16085	0.20791	1.36876	1.34725	2	35°26′ 0″
1 » 3′пол.	1.14901	0.19097	1.33998	1.29894	0	38° 1′58″
2 » 3′ »	1.11460	0.14808	1.26268	1.23541	2	44°15′ 9″
3 » 3′ »	1.04818	0.08867	1.13685	1.11284	2	52°43′52″
4 » 3′ »	0.92722	0.03186	0.95908	0.90581	2	62°25′45″
5 » 3′ »	0.70112	0.00309	0.70421	0.65481	1	72°38′39″

Время наблюденія	θ′	θ—θ′	θ—$θ_1$	a	b	a_1	b_1	a_2	b_2
21 іюля 1891 г.									
7 ч. 3 утра	23.6	24.0	16.3	1.47	0.32	1.43	0.30	1.42	0.29
8 » 3 »	24.1	26.4	16.5	1.60	0.37	1.54	0.35	1.52	0.34
9 » 3 »	24.2	29.2	16.7	1.74	0.42	1.67	0.40	1.65	0.39
10 » 3 »	24.3	30.1	17.3	1.73	0.42	1.66	0.39	1.64	0.39
11 » 3 »	24.5	31.1	17.7	1.75	0.43	1.67	0.40	1.65	0.39
12 »15 дня	25.0	29.8	16.8	1.77	0.43	1.68	0.40	1.67	0.40

Время наблюденія	θ'	$\theta-\theta'$	$\theta-\theta_1$	a	b	a_1	b_1	a_2	b_2
1 ч. пополудни	25.4	31.7	17.4	1.82	0.45	1.72	0.42	1.70	0.41
2 » »	26.7	28.1	16.2	1.73	0.42	1.66	0.40	1.64	0.39
3 » »	25.9	27.7	16.6	1.66	0.40	1.60	0.37	1.59	0.37
4 » »	26.1	26.7	16.2	1.64	0.39	1.59	0.37	1.57	0.36
5 » »	25.7	23.9	15.2	1.57	0.36	1.52	0.34	1.50	0.33
6 » вечера	25.1	19.3	12.4	1.55	0.35	1.52	0.34	1.50	0.33
22 іюля 1891 г.									
7 ч. 3′ утра	22.4	25.9	15.6	1.66	0.40	1.59	0.37	1.58	0.36
8 » 3′ »	24.5	26.5	15.8	1.67	0.40	1.61	0.37	1.60	0.37
8 » 37′ »	24.5	29.0	16.8	1.72	0.42	1.64	0.39	1.63	0.39
12 » 3′ дня	26.8	32.2	18.4	1.75	0.43	1.66	0.39	1.64	0.39
12 » 45′ попол.	27.0	29.3	16.0	1.83	0.45	1.74	0.42	1.72	0.41
23 іюля 1891 г.									
7 ч. 3′ утра	22.5	26.5	17.5	1.51	0.33	1.48	0.31	1.45	0.31
8 » 3′ »	23.2	26.8	17.0	1.57	0.36	1.52	0.34	1.50	0.33
9 » 3′ »	25.9	29.5	18.5	1.59	0.37	1.53	0.34	1.51	0.34
10 » 3′ »	27.5	29.9	18.6	1.60	0.37	1.54	0.35	1.52	0.35
11 » 3′ »	26.0	28.5	16.8	1.70	0.41	1.62	0.38	1.60	0.37
1 » 3′ попол.	27.4	28.6	16.2	1.76	0.43	1.68	0.40	1.66	0.40
2 » 3′ »	27.4	28.0	16.0	1.75	0.43	1.67	0.40	1.65	0.39
3 » 3′ »	28.3	27.2	15.9	1.71	0.42	1.64	0.39	1.62	0.38
4 » 3′ »	28.2	30.1	19.8	1.52	0.34	1.46	0.31	1.45	0.31
5 » 3′ »	26.9	27.1	18.0	1.50	0.33	1.47	0.31	1.40	0.29
5 авг. 1891 г.									
7 ч. 3′ утра	24.7	22.7	14.1	1.61	0.37	1.56	0.35	1.55	0.35
9 » 3′ »	26.8	23.2	14.3	1.62	0.38	1.57	0.36	1.55	0.35
10 » 3′ »	27.0	26.6	15.4	1.72	0.42	1.65	0.39	1.64	0.39
1 » 3′ попол.	28.0	26.8	15.6	1.72	0.42	1.64	0.39	1.63	0.38
2 » 33′ »	28.1	27.7	15.8	1.75	0.43	1.67	0.40	1.65	0.39
3 » 3′ »	28.4	25.6	15.0	1.70	0.41	1.64	0.39	1.62	0.38

Время наблюденія	θ'	$\theta-\theta'$	$\theta-\theta_1$	a	b	a_1	b_1	a_2	b_2
6 авг. 1891 г.									
9 ч. 3′ утра	26.6	23.4	14.4	1.62	0.38	1.57	0.36	1.55	0.35
10 » 3′ »	27.3	24.3	15.0	1.62	0.38	1.56	0.36	1.55	0.35
11 » 3′ »	29.3	26.7	16.0	1.66	0.40	1.60	0.37	1.59	0.37
12 » 15′ дня	28.9	26.6	15.9	1.67	0.40	1.60	0.37	1.60	0.37
2 » 3′ попол.	28.1	29.0	16.8	1.72	0.42	1.64	0.39	1.63	0.38
5 » 3′ »	27.6	24.9	15.2	1.62	0.38	1.56	0.36	1.55	0.35
11 авг. 1891 г.									
10 ч. 3′ утра	24.0	26 2	16.0	1.64	0.39	1.57	0.36	1.55	0.36
11 » 3′ »	24.6	28.0	16.8	1.66	0.40	1.59	0.37	1.58	0.37
1 » 3′ попол.	24.0	30.0	17.0	1.76	0.43	1.68	0.40	1.66	0.39
2 » 3′ »	24.8	28.7	16.1	1.78	0.43	1.70	0.41	1.68	0.40
3 » 3′ »	24.8	28.3	16.3	1.73	0.42	1.66	0.39	1.64	0.39
4 » 3′ »	25.2	27.8	16.6	1.67	0.40	1.60	0.37	1.59	0.37
5 » 3′ »	24.7	25.5	15.3	1.66	0.40	1.60	0.37	1.58	0.37
6 » 3′ »	24.6	19.6	12.4	1.58	0.36	1.54	0.35	1.52	0.34
7 » 3′ вечера	22.6	8.5	5.9	1.44	0.30	1.50	0.33	1.42	0.29
12 авг. 1891 г.									
8 ч. 3′ утра	23.0	28.8	19.7	1.46	0.32	1.41	0.30	1.40	1.28
10 » 3′ »	26.4	31.3	21.0	1.49	0.33	1.43	0.30	1.41	0.29
11 » 3′ »	26.4	32.6	20.2	1.61	0.37	1.54	0.35	1.52	0.34
12 » 3′ дня	27.3	32.7	20.0	1.63	0.38	1.56	0.36	1.55	0.35
1 » 3′ попол.	27.4	32.5	20.0	1.62	0.38	1.55	0.35	1.53	0.34
2 » 3′ »	27.4	33.5	20.2	1.65	0.39	1.57	0.37	1.56	0.36
3 » 3′ »	26.7	32.3	19.6	1.64	0.39	1.57	0.37	1.55	0.35
4 » 3′ »	28.3	29.5	19.0	1.55	0.35	1.50	0.33	1.48	0.32
5 » 3′ »	27.4	26.2	16.9	1.55	0.35	1.50	0.33	1.48	0.32
6 » 3′ вечера	25.4	18.8	12.2	1.54	0.35	1.50	0.33	1.49	0.33
13 авг. 1891 г.									
8 ч. 3′ утра	26.3	24.4	14.3	1.70	0.41	1.64	0.39	1.62	0.39
9 » 3′ »	27.3	26.7	15.0	1.78	0.43	1.70	0.41	1.68	0.40
10 » 3′ дня	28.0	27.5	15.4	1.78	0.43	1.70	0.41	1.68	0.40

Время наблюденія	θ'	$\theta-\theta'$	$\theta-\theta_1$	a	b	a_1	b_1	a_2	b_2
1 ч. 3′ попол.	29.4	28.0	15.6	1.79	0.44	1.71	0.41	1.69	0.41
2 » 3′ »	29.3	27.9	15.4	1.81	0.44	1.72	0.42	1.71	0.41
3 » 3′ »	29.6	26.5	14.9	1.77	0.43	1.70	0.41	1.68	0.40
4 » 3′ »	28.4	25.4	14.3	1.77	0.43	1.70	0.41	1.68	0.40
14 авг. 1891 г.									
8 ч. 3′ утра	28.0	23.0	14.7	1.56	0.35	1.51	0.34	1.50	0.33
9 » 3′ »	29.4	25.8	15.6	1.65	0.39	1.59	0.37	1.57	0.36
12 » 35′ дня	29.3	31.2	17.5	1.78	0.43	1.69	0.41	1.67	0.40
3 » 3′ попол.	32.4	25.5	15.1	1.68	0.40	1.62	0.38	1.60	0.37
4 » 3′ »	30.5	25.8	15.7	1.64	0.39	1.59	0.36	1.57	0.36
5 » 3′ »	30.1	21.9	13.4	1.63	0.38	1.60	0.36	1.57	0.36
6 » 3′ вечера	28.7	15.8	10.1	1.56	0.35	1.53	0.34	1.52	0.34
23 авг. 1891 г.									
8 ч. 3′ утра	23.4	24.6	14.0	1.76	0.43	1.69	0.40	1.67	0.40
9 » 3′ »	24.1	26.4	15.0	1.76	0.43	1.69	0.40	1.67	0.40
12 » 25′ дня	26.2	28.1	15.3	1.83	0.45	1.75	0.43	1.73	0.42
2 » 3′ попол.	25.8	28.9	16.1	1.79	0.44	1.71	0.41	1.69	0.40
3 » 3′ »	25.7	27.3	15.7	1.74	0.43	1.66	0.40	1.64	0.39
5 » 3′ »	24.8	22.6	13.0	1.74	0.43	1.67	0.40	1.66	0.39

Время наблюденія	Феррель Стефанъ	Мауреръ —Стефанъ	Крова	Феррель —Пулье	Феррель —Николь
21 іюля 1891 г.					
7 ч. 3′ утра	0.8396	0.8204	0.8433	1.1098	1.0505
8 » 3′ »	0.9363	0.9179	0.8902	1.2377	1.1716
9 » 3′ »	1.0477	1.0303	1.0456	1.3848	1.3108
10 » 3′ »	1.0848	1.0681	1.1525	1.4339	1.3573
11 » 3′ »	1.1268	1.1110	1.2461	1.4893	1.4098
12 » 3′ дня	1.0782	1.0629	1.2368	1.4252	1.3490
1 » 3′ пополудни	1.1593	1.1457	1.1218	1.5324	1.4506

Время наблюденія	Феррель —Стефанъ	Маурерь —Стефанъ	Крова	Феррель —Пулье	Феррель —Николь
2 ч. 3′ пополудни	1.0230	1.0100	1.2368	1.3523	1.2800
3 » 3′ »	1.0010	0.9862	1.1338	1.3230	1.2523
4 » 3′ »	0.9624	0.9479	1.0026	1.2720	1.2040
5 » 3′ »	0.8497	0.8332	0.9370	1.1230	1.0631
6 » 3′ вечера	0.6704	0.6543	0.7985	0.8861	0.8388
22 іюля 1891 г.					
7 ч. 3′ утра	0.9045	0.8837	1.2462	1.1955	1.1317
8 » 3′ »	0.9426	0.9252	0.8620	1.2459	1.1794
8 » 33′ »	1.0421	1.0251	0.8527	1.3775	1.3040
12 » 3′ дня	1.1926	1.1825	0.7777	1.5764	1.4922
12 » 45′ пополудни	1.0747	1.0626	1.2487	1.4206	1.3447
23 іюля 1891 г.					
7 ч. 3′ утра	0.9284	0.9075	0.8714	1.2271	1.1616
8 » 3′ »	0.9454	0.9252	0.9856	1.2491	1.1824
9 » 3′ »	1.0734	1.0594	1.0213	1.4187	1.3430
10 » 3′ »	1.1035	1.0928	1.1525	1.4586	1.3807
11 » 3′ »	1.0341	1.0199	1.2650	1.3670	1.2940
1 » 3′ пополудни	1.0490	1.0379	1.1525	1.3866	1.3126
2 » 3′ »	1.0244	1.0126	1.0307	1.3540	1.2818
3 » 3′ »	0.9991	0.9888	1.0776	1.3206	1.2501
4 » 3′ »	1.1174	1.1085	1.0120	1.4770	1.3980
5 » 3′ »	0.9849	1.0486	0.8152	1.3018	1.2323
5 августа 1891 г.					
7 ч. 3′ утра	0.7969	0.7794	1.2931	1.0534	0.9972
9 » 3′ »	0.8295	0.8149	1.0307	1.0965	1.0380
10 » 3′ »	0.9651	0.9520	1.2181	1.2757	1.2076
1 » 3′ пополудни	0.9807	0.9691	1.1525	1.2963	1.2271
2 » 33′ »	1.0165	1.0074	1.1900	1.3436	1.2718
3 » 3′ »	0.9353	0.9244	1.0776	1.2363	1.1703

Время наблюденія	Феррель—Стефанъ	Мауреръ—Стефанъ	Крова	Феррель—Пулье	Феррель—Николь
6 августа 1891 г.					
9 ч. 3' утра	0.8354	0.8210	1.2181	1.1043	1.0453
10 » 3' »	0.8753	0.8622	1.0869	1.1570	1.0952
11 » 3' »	0.9863	0.9775	1.1619	1.3037	1.2340
12 » 25' дня	0.9932	0.9694	1.2181	1.3127	1.2427
2 » 3' пополудни	1.0713	1.0614	1.1713	1.4160	1.3404
11 августа 1891 г.					
10 ч. 3' утра	0.9277	0.9090	1.1900	1.2262	1.1607
11 » 3' »	1.0030	0.9859	1.3305	1.3257	1.2550
1 » 3' пополудни	1.0785	1.0608	1.1713	1.4256	1.3495
2 » 3' »	1.0330	1.0161	1.1057	1.3650	1.2922
3 » 3' »	1.0165	0.9999	1.1244	1.3436	1.2718
4 » 3' »	0.9995	0.9839	1.0307	1.3210	1.2505
5 » 3' »	0.9262	0.8878	1.0307	1.1964	1.1325
6 » 3' вечера	0.6790	0.6618	0.7964	0.8945	0.8496
7 » 3' »	0.2778	0.2664	0.2061	0.3672	0.3476
12 августа 1891 г.					
8 ч. 3' утра	1.0220	1.0030	1.0776	1.3509	1.2788
10 » 3' »	1.1517	1.1398	1.1244	1.5223	1.4410
11 » 3' »	1.2055	1.1950	1.1713	1.5933	1.5083
12 » 3' дня	1.2176	1.1927	1.1994	1.6094	1.5235
1 » 3' пополудни	1.2110	1.2017	1.0307	1.6007	1.5152
2 » 3' »	1.2530	1.2450	1.2181	1.6562	1.5678
3 » 3' »	1.1958	1.1854	1.2181	1.5805	1.4962
4 » 3' »	1.0934	1.0844	1.1431	1.4453	1.3681
5 » 3' »	0.9520	0.9394	0.5435	1.2583	1.1911
6 » 3' вечера	0.6534	0.6371	0.7028	0.8636	0.8175
13 августа 1891 г.					
8 ч. 3' утра	0.8729	0.8581	0.9464	1.1538	1.0922
9 » 3' »	0.9710	0.9586	0.8902	1.2835	1.2150
10 » 3' утра	1.0090	0.9981	1.0213	1.3334	1.2623
1 » 3' пополудни	1.0404	1.0324	0.9839	1.3752	1.3018

Время наблюденія	Феррель —Стефанъ	Мауэръ —Стефанъ	Крова	Феррель —Пулье	Феррель —Николь
2 ч. 3′ пополудни	1.0355	1.0272	1.1713	1.3689	1.2957
3 » 3′ »	0.9804	0.9714	1.0776	1.2959	1.2267
4 » 3′ »	0.9270	0.9159	0.9839	1.2253	1.1599
14 августа 1891 г.					
8 ч. 3′ утра	0.8289	0.8163	0.9745	1.3792	1.3056
9 » 3′ »	0.9506	0.9415	1.0301	1.2555	1.1894
12 » 35′ дня	1.1730	1.1674	0 7496	1.5507	1.4680
1 » 33′ пополудни	1.1121	1.1058	1.0776	1.4700	1.3916
3 » 3′ »	0.9599	0.9557	1.1244	1.2688	1.2011
4 » 3′ »	0.9582	0.9508	0.9932	1.2665	1.1989
5 » 3′ »	0.7990	0.7887	0.9839	1.0562	0.9997
6 » 3′ вечера	0.5566	0.4969	0.6372	0.7357	0.6964
23 августа 1891 г.					
8 ч. 3′ утра	0.8622	0.8422	1.0682	1.1391	1.0783
9 » 3′ »	0.9363	0.9180	1.0776	1.2377	1 1716
12 » 25′ дня	1.0193	1.0054	1.1244	1.3472	1.2753
2 » 3′ пополудни	1.0484	1.0341	1.2368	1.3857	1.3118
3 » 3′ »	0.9835	0.9682	1.0776	1.3000	1.2306
5 » 3′ »	0.7935	0.7763	0.9370	1.0486	0.9928
26 августа 1891 г.					
7 ч. 35′ утра	0.8295	0.8024	0.8433	1.0965	1.0380
1 » 3′ пополудни	1.0930	1.0780	0.9370	1.4448	1.3677
2 » 3′ »	1.0858	1.0710	1.1713	1.4352	1.3586
5 » 3′ »	0.6811	0.6630	0.7965	0.9003	0.8522
27 августа 1891 г.					
8 ч. 3′ утра	0.8458	0.8227	0.8433	1.1180	1.0583
10 » 3′ »	0.9669	0.9482	1.1338	1.2780	1.2098
11 » 3′ »	1.0806	1 0629	0.8902	1.4284	1.3520
12 » 3′ дня	1.0851	1.0680	1.1713	1.4343	1.3578
2 » 18′ пополудни	0.9197	0.9011	1.1057	1.2157	1.1507
4 » 3′ »	0.8639	0.8454	0.8714	1.1419	1.0809
5 » 3′ »	0.4952	0.4789	0.6042	0.6546	0.6196

ОГЛАВЛЕНІЕ.

Стр.

I. Измѣренія химической энергіи солнечныхъ лучей.

Глава I. Наблюденія Бунзена и Роско 1
Глава II. Наблюденія Роско 9
Глава III Наблюденія Штеллинга 16
Глава IV. Наблюденія Маршана 21
Глава V. Изслѣдованія Перитера 32
Глава VI. Общее заключеніе 35

II. Измѣренія тепловой энергіи солнечныхъ лучей.

Глава VII. Начало новыхъ изслѣдованій 41
Глава VIII. Наблюденія Віолля 47
Глава IX. Наблюденія Крова 53
Глава X. Изслѣдованія Лангле 68
Глава XI. Наблюденія Фрелиха 88
Глава XII. Изслѣдованія Ангстрема 96
Глава XIII. Актинометрическія наблюденія въ Россіи вообще 101
Глава XIV. Актинометрическія наблюденія на Большомъ Фонтанѣ. 105
Глава XV. Общее заключеніе 136

III. Фотоэлектрическая энергія солнечныхъ лучей.

Глава I. Актинометрія ультра-фіолетовыхъ лучей 143
Глава II. Наблюденія Эльстера и Гейтеля 154
Глава III. Актино-электрическія наблюденія на Большомъ Фонтанѣ 163
Глава IV. Изслѣдованія Экснера 166
Глава V. Общее заключеніе 174
Приложеніе .... I—XVII.

Изданія Новороссійскаго Общества Естествоиспытателей въ Одессѣ:

Томъ I и II. Распроданы.

Томъ III—X. Вып. I-й и 2-й.

Томъ XI. Вып. I-й и 2-й.

Томъ XII. Вып. I-й и 2-й.

Томъ XIII. Вып. I-й. П. *Бучинскій.* Левъ Семеновичъ Ценковскій (біографическій очеркъ съ портретомъ). *В. Заленскій.* Рѣчь, посвященная памяти Л. С. Ценковскаго. *Л. Ришави.* То-же. *Г. Скадовскій*—То-же. *И. Карацкій.*—То-же. *А. Клоссовскій.* Осадки Юго-Западной Россіи, ихъ распредѣленіе и предсказаніе (съ 6 табл.). *В. Хмѣлевскій.* Къ вопросу о копуляціи ядеръ при половомъ процессѣ у грибовъ. *Его-же.* Къ вопросу о всасываніи воды надземными частями. *И. Синцовъ.* Объ оренбургско-самарской юрѣ. *С. Танатаръ.* Дѣйствіе іодистаго метилена на малоновый эѳиръ. *М. Балашева.* О вліяніи внѣшней среды и преимущественно температуры воды и воздуха на Planorbis Vertia. Цѣна 2 руб. 50 коп.

Вып. 2-й Некрологъ. *Н. Кеппенъ.* Наблюденія надъ щупальцевыми инфузоріями (Tentaculifera) съ 3-мя таблицами. *С. Танатаръ.* О хлорсубститутахъ фумаровой и малеиновой кислотъ. *А. Клоссовскій.* Краткій отчетъ о дѣятельности метеорологической обсерваторіи Императорскаго Новороссійскаго Университета съ 1-го января 1886 года по 1 сентября 1888 года. *И. Моринъ.* Наблюденія надъ развитіемъ пауковъ. (съ 4 табл. и 3 рисунками въ текстѣ). *Н. Кеппенъ.* Замѣтка объ эмбріональныхъ шарахъ Podophrya quadripartita. *С. Танатаръ.* Адипомалоновая кислота изъ бромоизоянтарной. Цѣна 3 руб.

Томъ XIV. Вып. I-й. *Н. Умовъ.* Диффузія воднаго раствора поваренной соли. *Е. Клименко* и *Г. Пекатоpосъ.* О вліяніи HCl и хлористыхъ металловъ на фотохимическое разложеніе хлорной воды. А. *Ковалевскій.* О выдѣлительныхъ органахъ безпозвоночныхъ животныхъ. *Н. Зелинскій.* Къ вопросу объ изомеріи въ тіофеновомъ ряду. *А. Klossowsky.* L'anémographe de M. Timtchenko. А. *Клоссовскій.* Матеріалы для разработки вопроса о заносахъ. А. *П. Эйсмондъ.* Списокъ дикорастущихъ растеній въ окрестностяхъ г. Кишинева и ст. Ю. З. Ж. Д. Раздѣльной, собранныхъ весною 1888 г. *И. Пекарскій.* О перитрахеальныхъ клѣткахъ насѣкомыхъ. Цѣна 2 руб.

Вып. 2-й. *Е. Клименко* и студ. *Бухштабъ.* О дѣйствіи пятихлористаго фосфора на лимонную кислоту. *П. Панченко.* Снѣговой покровъ на юго-западѣ Россіи. *Я. Лебединскій.* Немертины Севастопольской бухты. *Н. Андрусовъ.* Новыя геологическія изслѣдованія на Керченскомъ полуостровѣ. *Я. Лебединскій.* Наблюденія надъ развитіемъ каменнаго краба. *А. Ковалевскій.* О выдѣлительныхъ органахъ нѣкоторыхъ насѣкомыхъ. Цѣна 2 р.

Томъ XV. Выпускъ I-й. *Р. Прендель.* Объ изодиморфной группѣ сурьмянистой и мышьяковой кислотъ. *А. Klossowsky.* Différentes formes de grêlons observés au sud-ouest de la Russie. *I. Пачоскій.* Къ флорѣ Крыма. *И. Синцовъ.* Объ оренбургско-самарской юрѣ. П. *Рудскій.* Нѣсколько замѣчаній по поводу теоріи образованія горъ. *Ф. Каменскій.* Изслѣдованія относящіяся къ семейству Lentibularicae (Utriculariеae). Цѣна 2 руб.

Выпускъ 2-й *А. А. Лебединцевъ.* Новое видоизмѣненіе Дальтонъ-Петтенкоферовскаго способа опредѣленія угольной кислоты въ воздухѣ и результаты при помощи его полученные. *М. Сидоренко.* Урагвайскій аметистъ *Р. Прендель.* Объ изодиморфной группѣ сурьмянистой и мышьяковистой кислотъ. *П. Бучинскій.* Исторія развитія Мизидъ (Mysidae). *А. Ковалевскій.* О селезенкѣ у моллюсковъ. *М. Сидоренко.* Замѣтка о мѣстонахожденіи ископаемыхъ костей при дер. Широкой Одесскаго уѣзда. Цѣна 1 р. 50 к.

Томъ XVI. Выпускъ I-й. *С. Танатаръ.* Къ вопросу о причинахъ изомеріи фумаровой и малеиновой кислотъ. *И. Синцовъ.* Результаты геологической экскурсіи въ Николаевъ. *А. Остроумовъ.* По поводу изслѣдованіе проф. Реттерэ о происхожденіи и развитіи ано-генитальной области млекопитающихъ. *Н. Альбовъ.* Абхазскіе папоротники. *Н. Зелинскій.* Изслѣдованіе явленій стереоизомеріи среди насыщенныхъ углеродистыхъ соединеній. Ц. 2 р.

Томъ XVI. Вып. 2-й. *С. Танатаръ.* Очеркъ исторіи вопроса объ изомеріи фумаровой и малеиновой кислотъ. *Его-же.* Нѣкоторыя термохимическія данныя о виноградной кислотѣ. *Его-же.* Нѣкоторыя химическія данныя о пировинной кислотѣ. *Его-же.* Нѣкоторыя термохимическія данныя для янтарной и изоянтарной кислотъ. *Его-же.* Дѣйствіе воды на бромоянтарную кислоту и ея калійную соль. *Его-же.* Нѣкоторыя термохимическія данныя о левулиновой кислотѣ. *В. Петріевъ.* О скоростяхъ реакціи при двойныхъ разложеніяхъ и вліяніе частичнаго вѣса кислотъ и ихъ строенія на эти величины. *А. Остроумовъ.* Предварительный отчетъ. *А. Лебединцевъ.* Тоже *С. Щусьевъ.* О химическомъ составѣ розоваго турмалина съ р. Урульги Нерчинскаго округа. Цѣна 2 руб.

Томъ XVII. Вып. 1-й. *Г. Г. Де-Метцъ.* Hermann von Helmholtz. 1821—1891. *Н. А. Кеппенъ.* Наблюденія надъ размноженіемъ диціемидъ. *В. Репяховъ.* О гаструляціи у позвоночныхъ животныхъ съ замѣчаніями относительно гомологіи зародышевыхъ пластовъ у Metazoa. *Я. Лебединскій.* Наблюденія надъ развитіемъ каменнаго краба. *А. Остроумовъ.* Отчетъ о завѣдываніи морской біологической станціей въ Севастополѣ. Цѣна 2 р. 50 к.

Выпускъ 2-й. *Н. Андрусовъ.* Біогеографическія замѣтки. *И. Синцовъ.* Замѣтки о нѣкоторыхъ видахъ неогеновыхъ окаменѣлостей, найденныхъ въ Бессарабіи. *Д. Заболотный.* О свѣченіи живыхъ организмовъ. *А. Лебединцевъ.* Приборъ, употреблявшійся во время экспедиціи 1891 и 1892 года для зачерпыванія воды съ глубинъ Чернаго моря. *Г. Мускатблитъ.* О митотическомъ размноженіи лейкоцитовъ въ кровяномъ руслѣ. Цѣна 1 р. 50 к.

Выпускъ 3-й. *S. Pereyaslawzewa.* Monographie des Turbellariés de la mer Noire. Цѣна 5 руб.

Томъ XVIII. Вып. 1-й. *Н. Зелинскій.* Научное значеніе химическихъ работъ Пастера. *Я. Бардахъ.* Значеніе Пастера въ медицинѣ и бактеріологіи. *Р. Прендель.* Памяти Н. И. Кокшарова. *Е. Клименко* и *Рафаловичъ.* О производныхъ паракрилевой и гидракрилевой кислотъ. *Е. Клименко* и *Бандалинъ.* О продуктахъ разложенія аллапина при сухой перегонкѣ. *Я. Лебединскій.* Отчетъ о зоологической экскурсіи лѣтомъ 1892 г. *М. Сидоренко.* О минеральномъ составѣ и происхожденіи пыли въ январскомъ снѣгѣ въ Одессѣ. *А. Лебединцевъ.* Отчетъ о научной поѣздкѣ по Черному морю на военномъ транспортѣ «Ингулъ» въ 1892 г. *Р. Прендель.* Петрографическое изслѣдованіе метеорита Гроссъ-Либенталь. *Н. Андрусовъ.* Замѣчанія о семействѣ Dreissensidae. *И. Синцовъ.* Объ Одесскихъ буровыхъ скважинахъ. Цѣна 2 руб.

Вып. 2-й. *И. Синцовъ.* Гидрогеологическое описаніе Одесскаго градоначальства. *Е. Клименко и В. Рудницкій.* О вліяніи соляной кислоты и хлористыхъ металловъ на фотохимическое разложеніе хлорной воды. *Е. Клименко.* О реакціи, происходящей при фотохимическомъ разложеніи хлорной воды въ присутствіи соляной кислоты и хлористыхъ металловъ. Цѣна 3 руб.

Томъ XIX. Вып. 1-й. *М. Сидоренко.* Петрографическое изслѣдованіе Курскаго самородка. *А. Браунеръ.* Замѣтки о птицахъ Херсонской губерніи. *А. Лебединцевъ* и *М. Пастернакъ.* Къ вопросу объ измѣненіи химическаго состава воды Одесской бухты по лѣтнимъ наблюденіямъ 1893 года. *П. Шестериковъ.* Матеріалы для флоры юго-западной части Одесскаго уѣзда Херсонской губерніи. *Р. Прендель.* Метеоритъ «Забродье». *А. Васильевъ.* Нивелирное соединеніе уровней моря и лимановъ Куяльницкаго и Хаджибейскаго. Цѣна 2 руб.

Вып. 2-й. *П. Бучинскій.* Наблюденія надъ эмбріональнымъ развитіемъ Malacostraca. Цѣна 2 руб. 50 коп.

27

Складъ изд. при Новороссійск. Обществѣ Естествоиспыт., въ Одессѣ.

